O CONHECIMENTO EM CORES

Iain Nicolson

EXPLORAÇÃO DOS PLANETAS

Edições Melhoramentos
Editora da Universidade de São Paulo

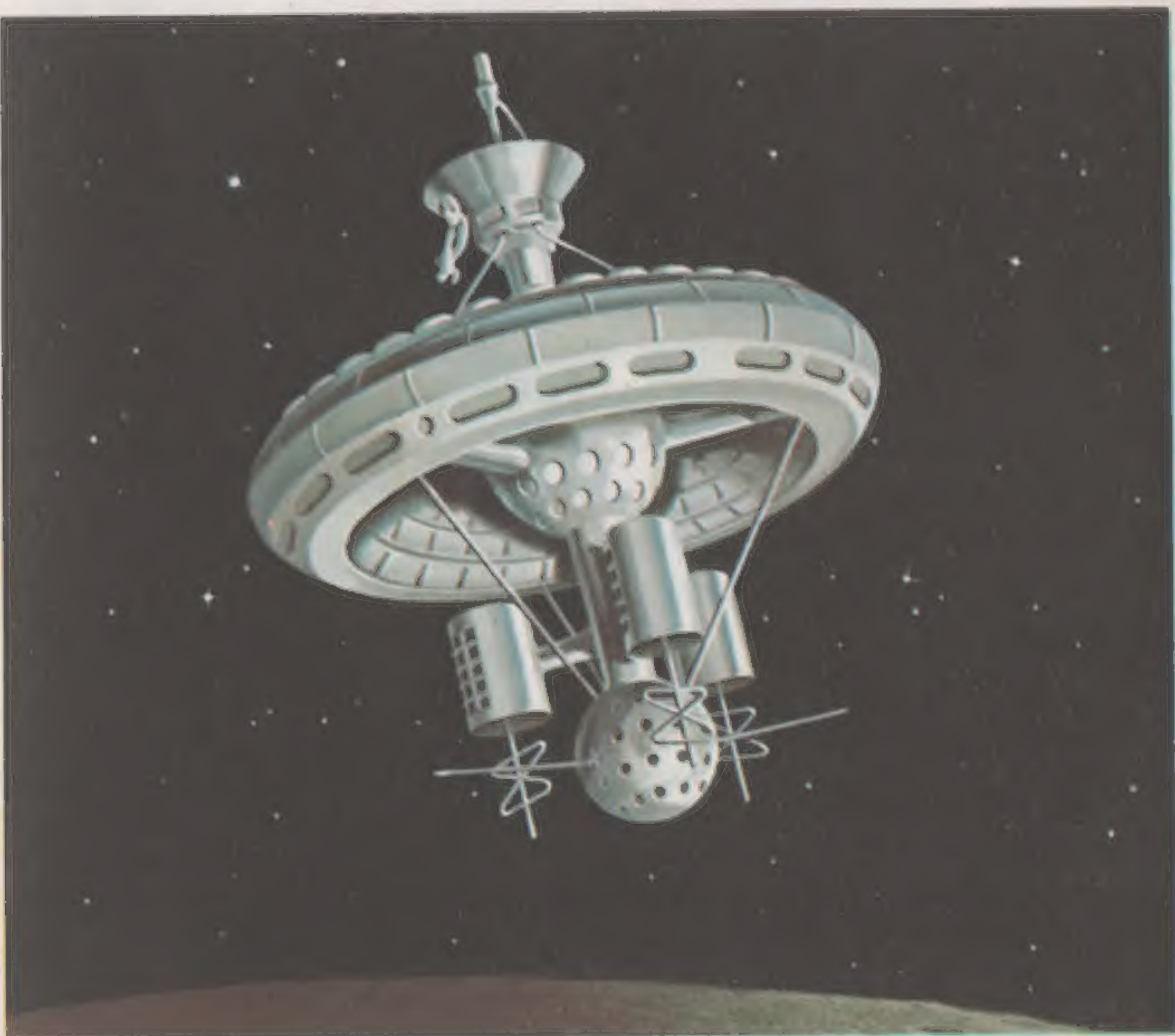
Série Prisma

IAIN NICOLSON

EXPLORAÇÃO DOS PLANETAS

Tradução de
Fernando de Castro Ferro

Revisão técnica de
Oscar Toshiaki Matsuura

Ilustrações de
James Nicholls

Edições Melhoramentos
Editora da Universidade de São Paulo

Obra publicada
com a colaboração da

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor: Prof. Dr. Orlando Marques de Paiva

EDITORA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Presidente: Prof. Dr. Mário Guimarães Ferri

Comissão Editorial:

Presidente: Prof. Dr. Mário Guimarães Ferri (Instituto de Biociências). **Membros:** Prof. Dr. Antonio Brito da Cunha (Instituto de Biociências), Prof. Dr. Carlos da Silva Lacaz (Faculdade de Medicina), Prof. Dr. Pérsio de Souza Santos (Escola Politécnica) e Prof. Dr. Roque Spencer Maciel de Barros (Faculdade de Educação).

Título do original em língua inglesa:
EXPLORING THE PLANETS
© 1970 by The Hamlyn Publishing Group Limited

Todos os direitos reservados
Comp. Melhoramentos de São Paulo, Indústrias de Papel
Caixa Postal 8120, São Paulo
RPx-III-1975

Nos pedidos telegráficos basta citar o Cód. 7-02-16-025

QUE É "PRISMA"

A Série PRISMA — o Conhecimento em Cores — nasceu da necessidade de se proporcionar ao homem moderno um conjunto de sínteses essenciais, de fácil consulta e manejo, nas áreas mais importantes da ciência e da tecnologia, desde as escavações arqueológicas à conquista espacial.

Constitui-se ela em séria e importante reunião de conhecimentos disponíveis desde descobertas básicas e definitivas até a exposição de audaciosas hipóteses, que estão contribuindo, hoje, para novas aberturas na evolução do saber.

Cada original da série foi elaborado por autor de comprovada competência no respectivo ramo e escrito para ocupar o espaço de um volume de bolso. Os textos estão fartamente documentados por ilustrações a cores. As traduções contaram com a colaboração de especialistas e de professores da Universidade de São Paulo.

A Melhoramentos sente-se realmente entusiasmada por ter encontrado esta série entre as várias coleções de bolso do gênero que pesquisou no mundo inteiro. E é ainda maior o seu entusiasmo em poder colocá-la à disposição do público brasileiro, com o prestigioso estímulo da Editora da Universidade de São Paulo, numa apresentação que, certamente, honrará as tradições editoriais, como mais uma contribuição de valor, neste momento de acelerado desenvolvimento cultural e tecnológico que o mundo está vivendo.

Edições Melhoramentos

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO

Muito cedo, na remota Antigüidade, os primitivos se deram conta de que, no conjunto estelar, quase todos os astros pareciam fixos, uns em relação aos outros, no correr dos anos e dos séculos. Mas, ao mesmo tempo, notaram que havia umas poucas exceções. Cinco daquelas "estrelas" se moviam por entre as outras, mudando constantemente de posição: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno.

Por milhares de anos, e mesmo até a época de Copérnico, os planetas conhecidos continuaram sendo apenas esses cinco, e, durante quase a totalidade desse tempo, ninguém imaginava que a Terra fosse um deles, ou que houvesse outros, além daquele pequeno grupo.

Um sexto planeta no céu só foi descoberto em 1781, e um músico, astrônomo amador, é quem teve a glória de o descobrir: William Herschel. Um astrônomo profissional, Bode, deu ao novo planeta o nome de Urano. Sessenta e cinco anos mais tarde, Galle, seguindo os cálculos de Leverrier, descobriu Netuno, que é invisível a olho nu. E Plutão, o último até agora descoberto, foi localizado em 1930, por Tombaugh, graças a indicações que Percival Lowell publicara quinze anos antes.

Homens já pisaram o solo da Lua, e de lá trouxeram amostras e rochas. Mercúrio, Vênus, Marte e Júpiter têm sido sondados de muito perto, por meio de sensores especiais.

Assim, é interessante que nos familiarizemos com o que a ciência e a tecnologia descobriram até agora, quanto aos planetas, de sorte a facilitar comparações objetivas com dados que surgirem de novas conquistas espaciais. Daí uma das utilidades deste belo livro, ricamente ilustrado a cores, que, além de expor o que já se conhece sobre o assunto, convoca o leitor para atuar como amador no campo da Astronomia, dando-lhe, para isso, as necessárias instruções.

Os planetas Júpiter (brilhante, esbranquiçado) e Marte (avermelhado) no céu noturno

INTRODUÇÃO

Um olhar casual para o céu noturno pode revelar uma variedade de objetos interessantes. A Lua é o corpo dominante, passando pelo seu ciclo de fases, desde a Lua Nova até à Lua Cheia, e inversamente, aproximadamente uma vez por mês. O céu noturno está salpicado com milhares de estrelas de brilho e cores diferentes, muitas delas agrupadas em figuras facilmente reconhecíveis, ou *constelações*. Sabemos, hoje, que as estrelas são esferas imensas de gás luminoso, como o nosso próprio Sol, mas encontram-se a distâncias tão enormes que parecem ser apenas minúsculos pontos de luz. Na maioria das noites, é possível ver um ou mais meteoros (página 71) passar vertiginosamente pelo céu e, ocasionalmente, também se pode observar a fantasmagórica forma de um cometa.

Mas há uma outra classe de objetos a ser considerada. Enquanto

as estrelas parecem manter posições fixas no céu, há alguns objetos semelhantes a estrelas que parecem mover-se lentamente, dia após dia, mês após mês, contra o fundo das constelações. Esses objetos são os planetas ou "estrelas errantes", como eram conhecidos na Antigüidade. A existência dos planetas já é conhecida há muitos milhares de anos, e cinco desses planetas foram identificados pelos observadores egípcios e babilônios, há cerca de cinco mil anos.

Em nossos dias sabemos que os planetas são corpos sólidos como a Terra, sem luz própria, brilhando pelo reflexo da luz solar. Todavia, os antigos astrônomos, sem qualquer equipamento, a olho nu, viam os planetas apenas como estrelas errantes e davam-lhès os nomes de suas divindades mitológicas. Dando-lhes seus nomes latinos, os cinco planetas eram os seguintes: Mercúrio, o mensageiro alado dos deuses; Vênus, a deusa do amor; Marte, o deus da guerra; Júpiter, o rei dos deuses; e Saturno, pai de Júpiter, é conhecido como o "Velho Tempo". Os antigos astrônomos observaram as posições destas "estrelas errantes", mas tinham dificuldade em explicar seus movimentos.

A Terra, a Lua e o Sol comparados em tamanho (distância não em escala)

O universo de Ptolomeu

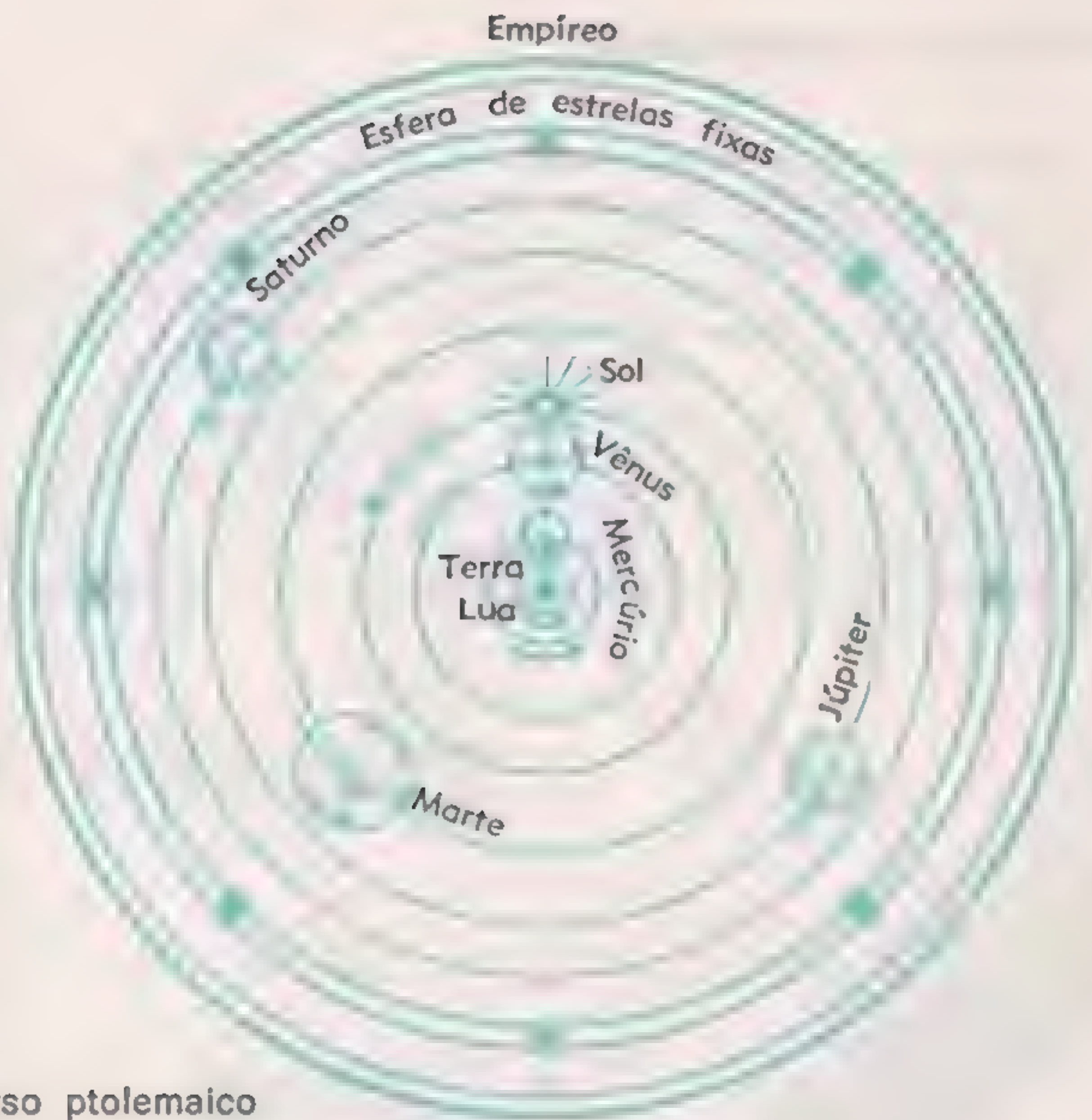
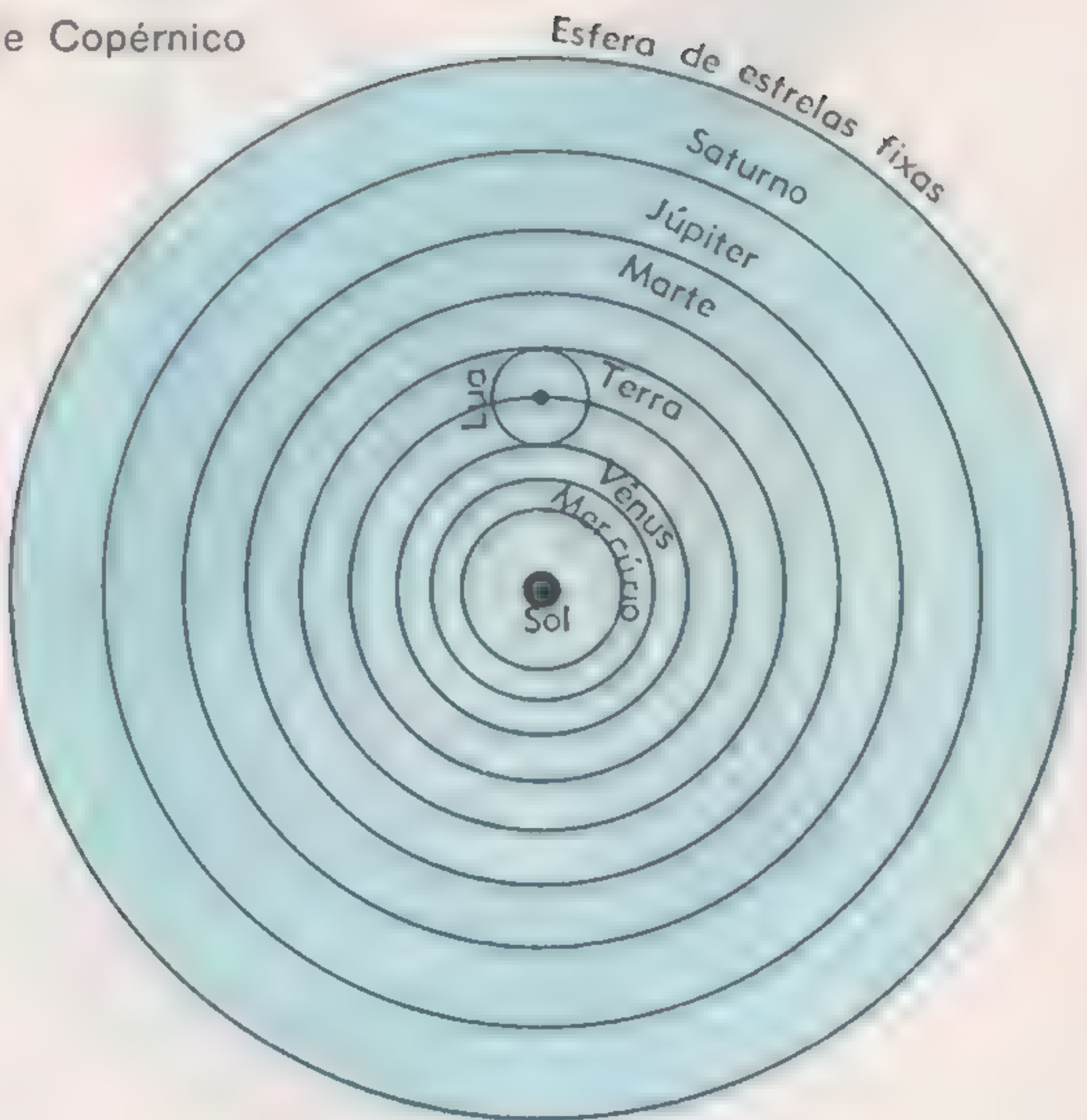
Desde cerca de 700 a.C. até 200 d.C., a civilização grega estava no seu apogeu. Os gregos foram, talvez, os primeiros verdadeiros cientistas e realizaram muitos avanços importantes no conhecimento astronômico. Eratóstenes, por exemplo, conseguiu calcular a circunferência da Terra com razoável precisão. Todavia, a visão grega do universo foi sintetizada por Ptolomeu no II Século d.C. Ptolomeu colocava a Terra no centro do universo, com os outros corpos girando em sua volta, seguindo rotas circulares, na seguinte ordem: Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno. Fora disto, encontrava-se a esfera das estrelas fixas. Depois do tempo de Ptolomeu, a civilização grega declinou e nenhuma nova idéia sobre o esquema do universo apareceu durante quase mil anos.

Novas idéias

Já se via, mesmo no tempo de Ptolomeu, que os movimentos dos planetas não podiam ser explicados inteiramente pela suposição de que eles se moviam em volta da Terra em órbitas circulares e ele tentou refutar esta objeção, sobrepondo movimentos adicionais aos círculos básicos.

Em 1543, Copérnico (Nicolaus Koppernigk) publicou uma nova teoria, revolucionária, na qual solucionou muitas das objeções ao sistema ptolemaico. Copérnico sugeriu que o Sol se encontrava no centro do universo e que todos os planetas, incluindo a Terra, giravam em volta dele. A Igreja, nesse tempo, mantinha a opinião de que a Terra era o mais importante corpo de todo o universo e de que, portanto, devia estar no centro; assim as opiniões de Copérnico foram consideradas heréticas. Todavia, sua teoria começou a cativar os pensadores.

As discrepâncias que ainda existiam entre a teoria de Copérnico e os verdadeiros movimentos dos planetas foram corrigidas no início do século XVII por Johannes Kepler, que sugeriu que os planetas se moviam em volta do Sol, não em círculos, mas sim em órbitas elípticas.

Por volta dessa época, foi inventado o telescópio por Lippershey, na Holanda e, em 1609, o italiano Galileu Galilei realizou as primeiras observações astronômicas sistemáticas com telescópio. Galileu se convenceu da validade da teoria de Copérnico e foi processado por suas opiniões heréticas.

Newton e a gravitação

Por que os planetas continuam nas suas órbitas em volta do Sol? A resposta foi dada por um dos maiores cientistas de todos os tempos, Isaac Newton. Nascido em 1642, depressa se tornou famoso em quase todos os campos da ciência conhecida no seu tempo, especialmente na matemática, na física e na astronomia. Newton inventou uma nova forma de telescópio, o refletor, que usava espelhos em vez de lentes, para recolher a luz.

Parece ser verdade que Newton foi levado a considerar o movimento dos corpos ao observar uma maçã caindo de uma árvore e ao procurar a razão de sua queda. Sua teoria da *gravitação universal* explicava o movimento planetário – e a queda das maçãs –

Refletor newtoniano, fabricado por Sir William Herschel

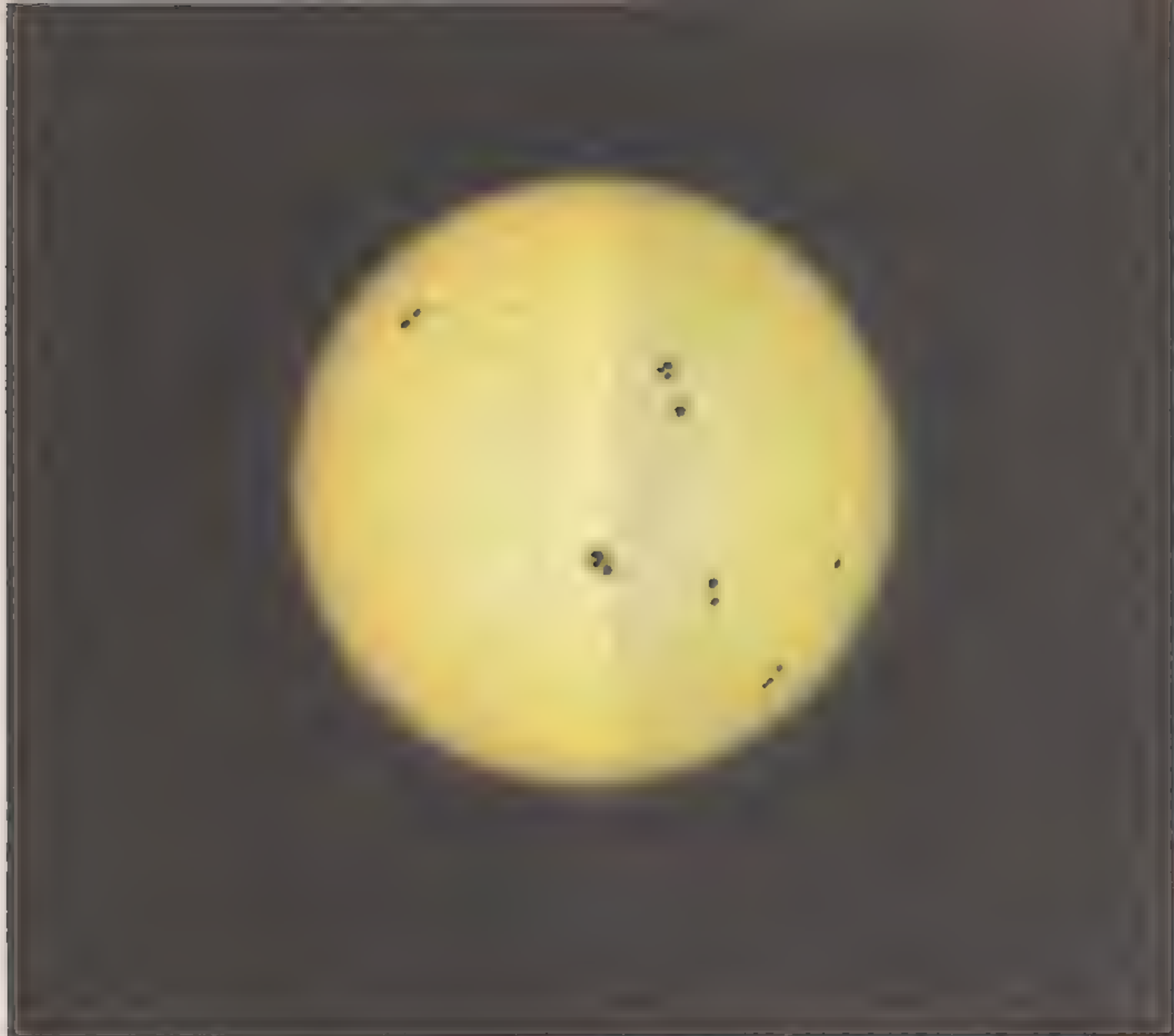
(Em cima) A descoberta de Urano por Herschel tomou o mundo astronômico de surpresa

(Embaixo) Reconhecimento telescópico de um planeta. Um planeta pode ser detectado por sua aparência semelhante a um disco ou, então, pelo seu movimento contra o fundo de estrelas

supondo que os corpos no universo se atraíam uns aos outros com uma força dependente diretamente das massas dos corpos e inversamente do quadrado de suas distâncias. Por outras palavras, se a distância entre dois corpos fosse dobrada, a força de atração seria dividida por quatro. Assim, os planetas e o Sol atraem-se uns aos outros; os planetas mantêm suas órbitas em volta do Sol pelo fato de sua velocidade ser suficiente para impedir sua queda no Sol, mas não tão grande que lhes permita afastarem-se dele.

A astronomia desenvolveu-se rapidamente depois de Newton, e maiores e melhores telescópios foram sendo construídos. Sir William Herschel, com um telescópio que ele próprio construiu, em 1781, descobriu um planeta novo, Urano, cuja órbita era além da de Júpiter. Essa descoberta deixou o mundo astronômico inteiramente surpreso, pois há milhares de anos que se supunha que só existiam cinco planetas, além da Terra.

Os cálculos sobre os movimentos de Urano (página 118) levaram à descoberta de mais um planeta, Netuno, em 1846. Enquanto Urano pode ser visto, embora com dificuldade, a olho nu, Netuno, por seu lado, só pode ser visto com ajuda de telescópio.

O planeta mais exterior conhecido até agora, Plutão, foi descoberto em 1930, após uma longa busca baseada em cálculos realizados por Percival Lowel. Assim, o sistema solar contém nove planetas. Além destes, há, entre Marte e Júpiter, os asteróides.

O Sol. As áreas escuras são manchas solares
e as mais claras são fáculas

Uma breve descrição do nosso sistema solar

Olhemos para o nosso sistema solar tal como os astrônomos atuais o vêem. A Terra, como sabemos, é um dos nove planetas que giram em volta do Sol, que não é mais que uma estrela muito comum. O Sol, porém, é de importância vital para nós, proporcionando-nos luz e calor nas quantidades certas para manter a vida, tal como a conhecemos. Uma variação na produção de energia no Sol poderia destruir nossa forma de vida.

O Sol é uma esfera de gás luminoso, principalmente hidrogênio, tendo cerca de 1.393.000 quilômetros de diâmetro. Ele é mais de um milhão de vezes maior, em volume, do que a Terra, mas a sua massa é apenas 330 mil vezes maior do que a da Terra. Assim, a densidade média do Sol é muito baixa, na realidade 1,4 vezes a da água; a densidade da Terra é 5,5 vezes a da água. A temperatura da superfície do Sol (ou fotosfera) é de cerca de 6.000° Kelvin (a escala de temperatura Kelvin ou Absoluta começa em -273°C), enquanto, nas regiões centrais, grandemente comprimidas, supõe-se que a temperatura se aproxima de 20 milhões de graus Kelvin. O Sol produz uma contínua e regular emissão de energia, atuando exatamente como uma bomba de hidrogênio controlada. Nas regiões centrais, muito quentes, os átomos do hidrogênio fun-

A Lua

dem-se uns com os outros para formar o elemento hélio, com grandes quantidades de energia sendo liberadas nesse processo. Além da luz visível, o Sol produz outros tipos de radiação como os raios X e as ondas de rádio.

O sistema solar é constituído, principalmente, pelos nove planetas e por suas luas, além, é claro, de milhares de asteróides. O Sol também arrasta consigo uma grande quantidade de "restos espaciais" na forma de partículas de poeira e de gás tênue, bem como enxames de minúsculos meteoros e aglomerados dessa matéria, que formam os cometas.

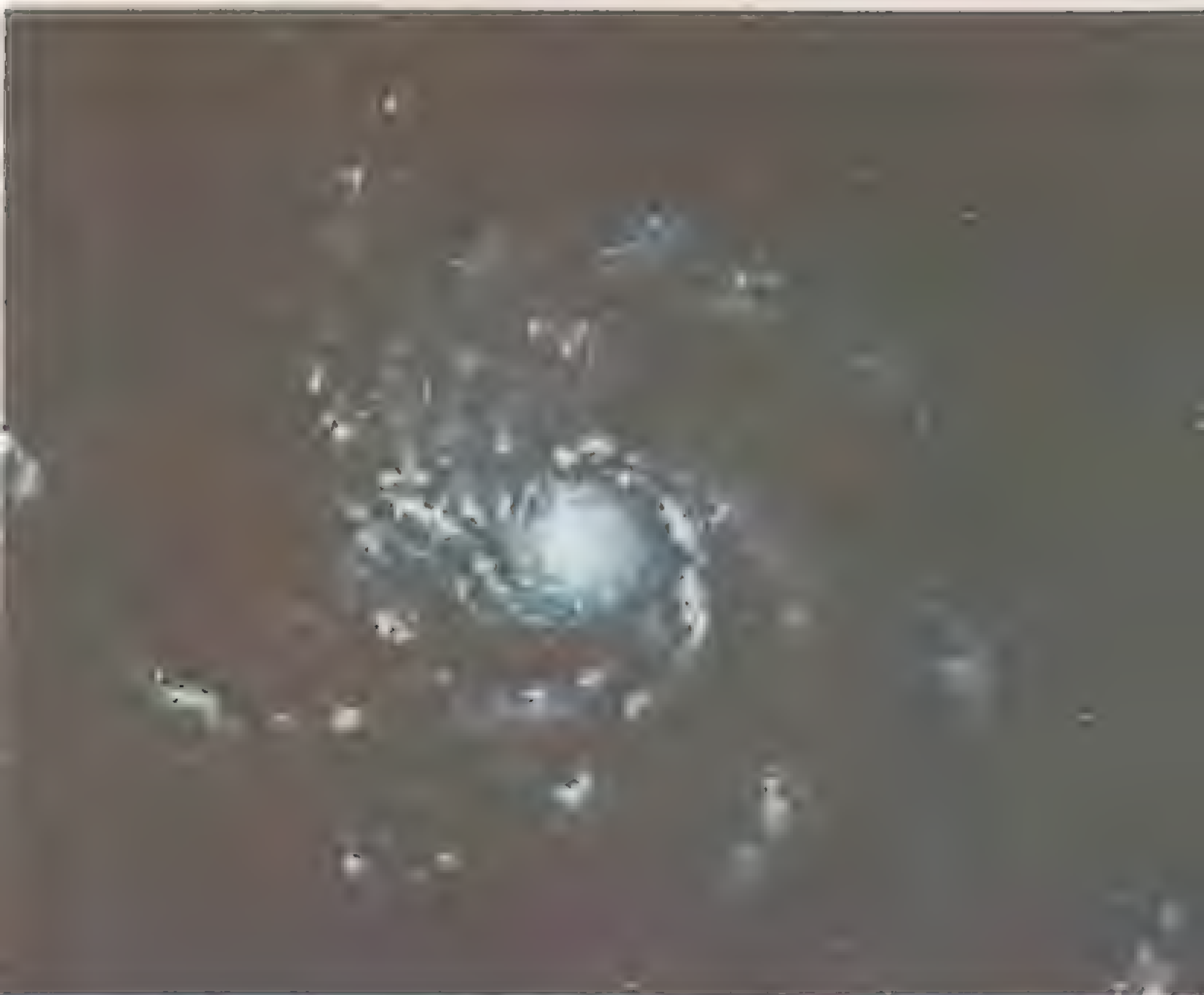
Os planetas comparados em tamanho. *(Da esquerda para a direita)* Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno, Plutão

Além da borda

Além da borda do sistema solar, nada existe, a não ser uma fina mistura de gases e de poeira, até alcançarmos algumas das outras estrelas. As distâncias que separam as estrelas são tão grandes, que a unidade usada para medição dessas distâncias é o ano-luz – a distância percorrida pela luz em um ano. Como a velocidade da luz no espaço é de cerca de 300.000 quilômetros por segundo, um ano-luz é equivalente a cerca de nove trilhões e quinhentos bilhões de quilômetros; contudo, mesmo segundo estes cálculos, a estrela mais próxima, *Proxima Centauri*, está a mais de quatro anos-luz de distância.

As estrelas variam consideravelmente em tamanho e temperatura. A cor é uma indicação bastante boa da temperatura de uma estrela; as estrelas vermelhas são relativamente frias, enquanto que as estrelas azuis são quentes. Conhecemos estrelas que são menores do que a Terra, enquanto outras são tão grandes que, se fossem colocadas onde o Sol se encontra, a Terra estaria dentro delas.

As estrelas, em muitos casos, estão agrupadas em aglomerados, que poderão ter desde algumas dúzias até dezenas de milhares de estrelas, como no caso dos aglomerados globulares compactos. O Sol, as estrelas e os aglomerados de estrelas são parte de um sistema gigantesco com aproximadamente cem bilhões de estrelas, sistema esse chamado *galáxia*. Esta tem a forma de um disco, com as estrelas agrupadas mais compactamente no centro e com braços em espiral compostos de estrelas, gases e poeira, partindo do centro. O Sol encontra-se num desses braços em espiral.

(Em cima) A posição de M31, a Grande Nebulosa de Andrômeda, perto do quadrado de Pégaso

(Em cima) Galáxia espiral.
(Embaixo, à esquerda) Um aglomerado globular

A própria galáxia, porém, não está sozinha. Há pelo menos um bilhão de outras galáxias que podem ser observadas pelos telescópios de maior alcance. As galáxias também tendem a se juntarem em grupos e aglomerados. O *grupo local*, do qual a nossa galáxia é um membro, conta com vinte e sete galáxias, uma das quais é a Galáxia de Andrômeda, que se encontra a uma distância de dois milhões de anos-luz, e cuja posição no céu mostramos na página ao lado.

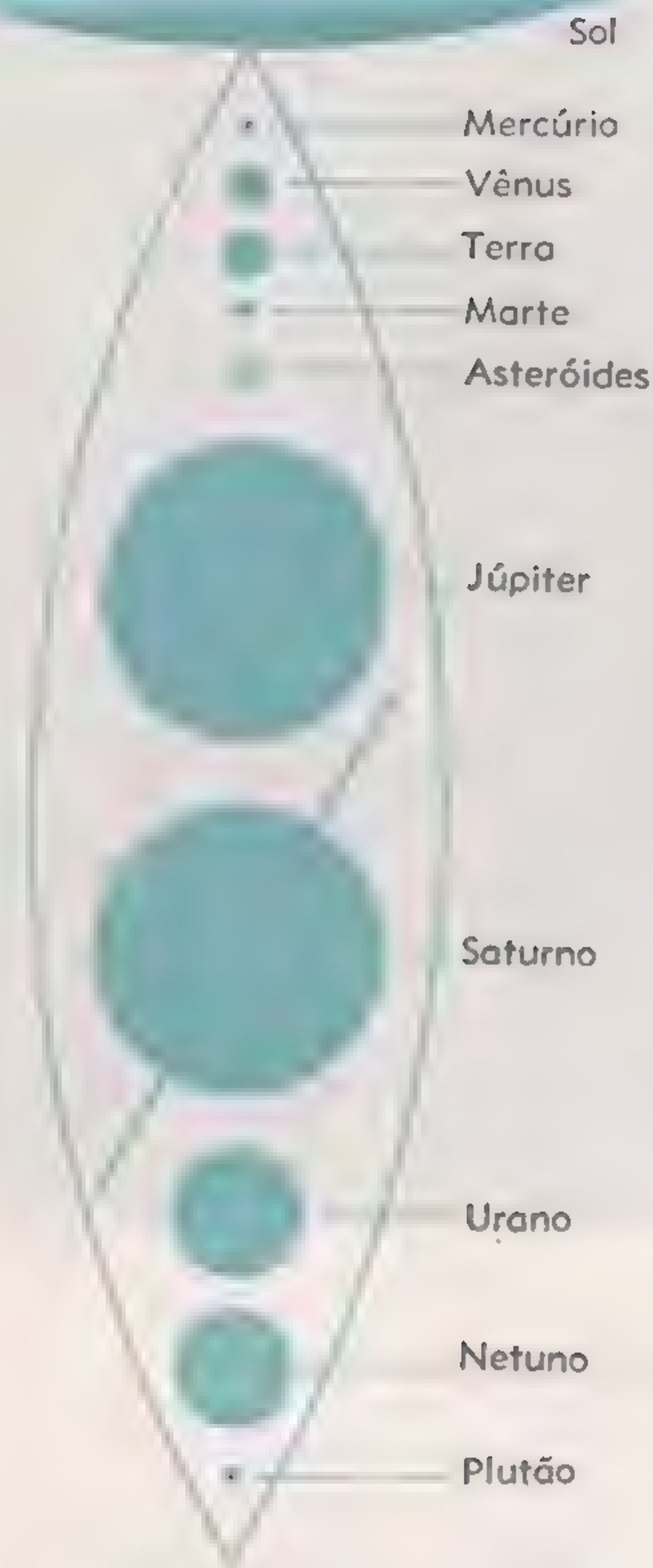
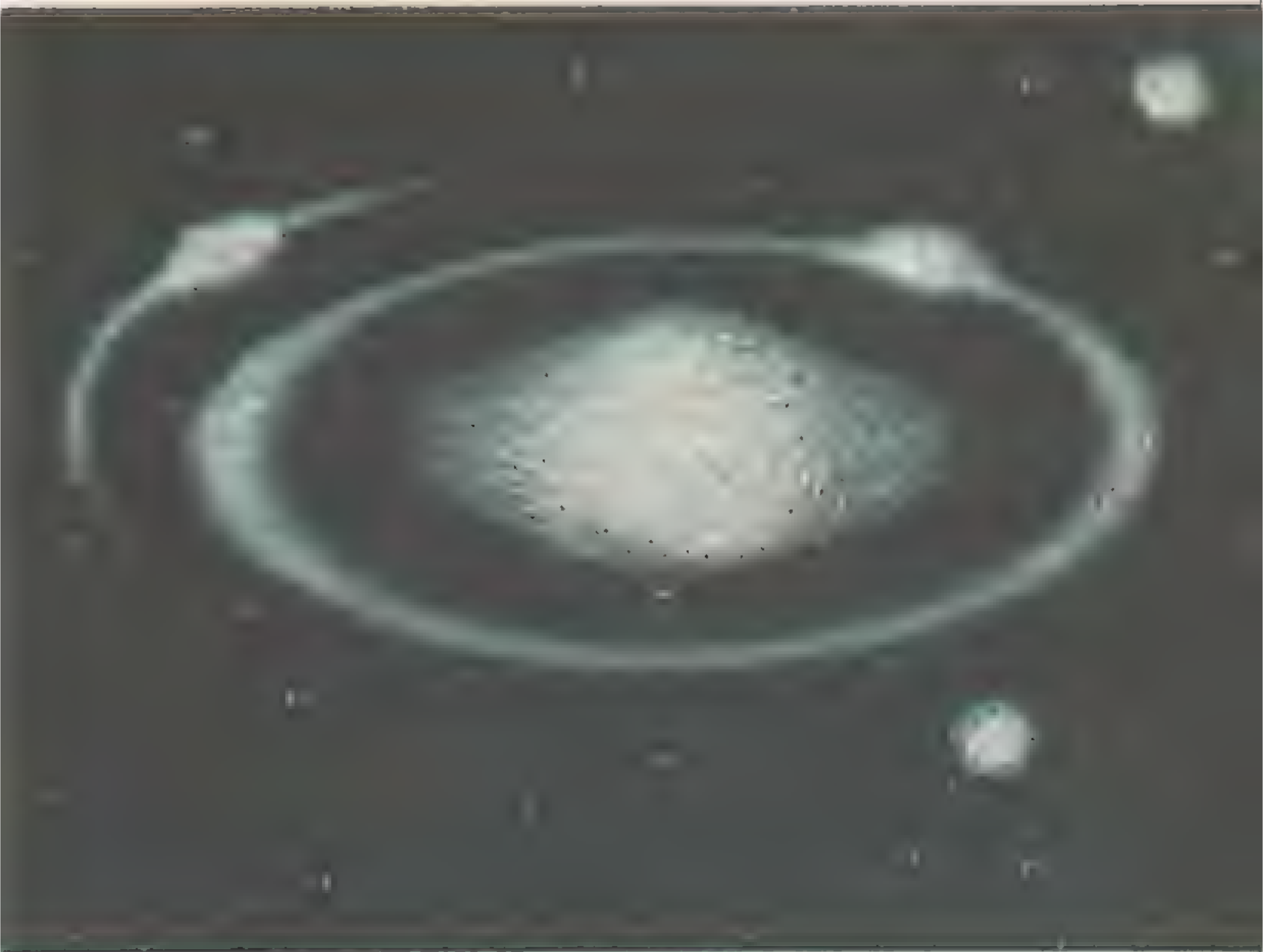
As galáxias parecem mover-se, afastando-se, a grandes velocidades e esta observação conduz a duas teorias sobre a origem do universo: a teoria da "grande explosão", que afirma que toda a matéria existente no universo foi formada ao mesmo tempo, e que está constantemente se expandindo, e a teoria do "estado estacionário", na qual se pensa que a matéria está sendo formada continuamente entre as galáxias em movimento. A origem do universo continua sendo um mistério.

Origem do sistema solar

Apesar de a origem do universo, como um todo, ainda ser uma incógnita, poderíamos esperar que o problema da formação do sistema solar fosse solucionado facilmente, mas a situação, aqui, também é confusa e não existe qualquer teoria que seja inteiramente satisfatória.

As antigas mitologias tinham várias explicações sobre a origem da Terra e dos planetas, mas a primeira teoria verdadeiramente científica foi sugerida, em 1796, pelo matemático francês Laplace. Ele supôs que o Sol e os planetas começaram como uma nuvem de gás girando lentamente, e que, depois, começou a se contrair e a girar cada vez mais rapidamente. Eventualmente, anéis de matéria foram lançados para fora da nuvem e a parte central contraiu-se de modo a formar o Sol. Os anéis de matéria, segundo ele, formaram os planetas.

Uma das objeções a esta teoria foi a questão da quantidade do movimento angular. Trata-se de uma quantidade que, a grosso modo, mede a energia rotacional que um corpo possui, sendo uma lei fundamental que a quantidade de movimento angular pode ser transferida, mas não destruída. Ora, quase toda a quantidade de movimento angular do sistema solar está concentrada nos planetas, enquanto que para uma nuvem em contração, como a de Laplace, a maior parte da quantidade de movimento angular deveria ser possuída pelo Sol.

Sol
Mercúrio
Vênus
Terra
Marte
Asteróides
Júpiter
Saturno
Urano
Netuno
Plutão

(Em cima) Teoria de Jeans sobre a origem do sistema solar. *(Embaixo)* Teoria de Woolfson

Hipótese nebular

Sir James Jeans resolveu esse problema da quantidade de movimento angular, sugerindo que uma outra estrela, passando perto do Sol, extraiu dele, por atração, um filamento de matéria com a forma de um charuto e colocou-o em rotação em volta do Sol. Segundo essa suposição, os planetas formaram-se desse filamento, com os maiores no meio do "charuto" e os menores (Mercúrio e Plutão) nas extremidades afiladas. Todavia, essa hipótese oferecia sérios obstáculos e, eventualmente, também foi abandonada.

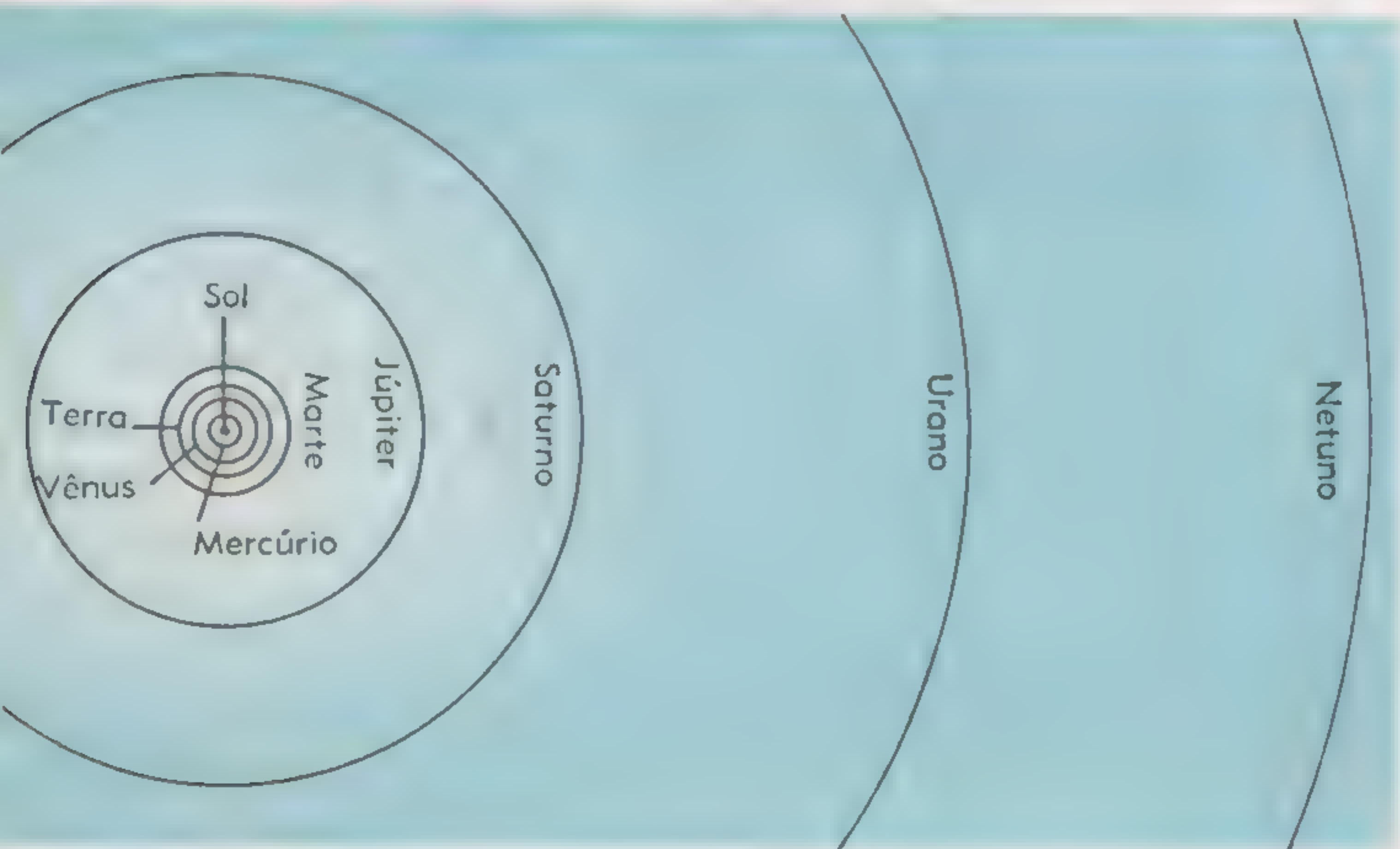
As teorias atuais, na sua maioria, são variações da hipótese original de Laplace. O problema da quantidade do movimento angular é solucionado pela suposição de que essa quantidade foi transferida do Sol para a nuvem por meio de algum agente, tal como campos magnéticos; isto é, o Sol diminuiu sua velocidade angular e a nuvem acelerou a sua. Uma teoria de maré, em que o material planetário foi arrancado pelo Sol de uma estrela que passava, foi sugerida pelo Prof. M. M. Woolfson, da Universidade de York, e parece bastante promissora mas ainda não ganhou muito apoio.

MOVIMENTOS DOS PLANETAS

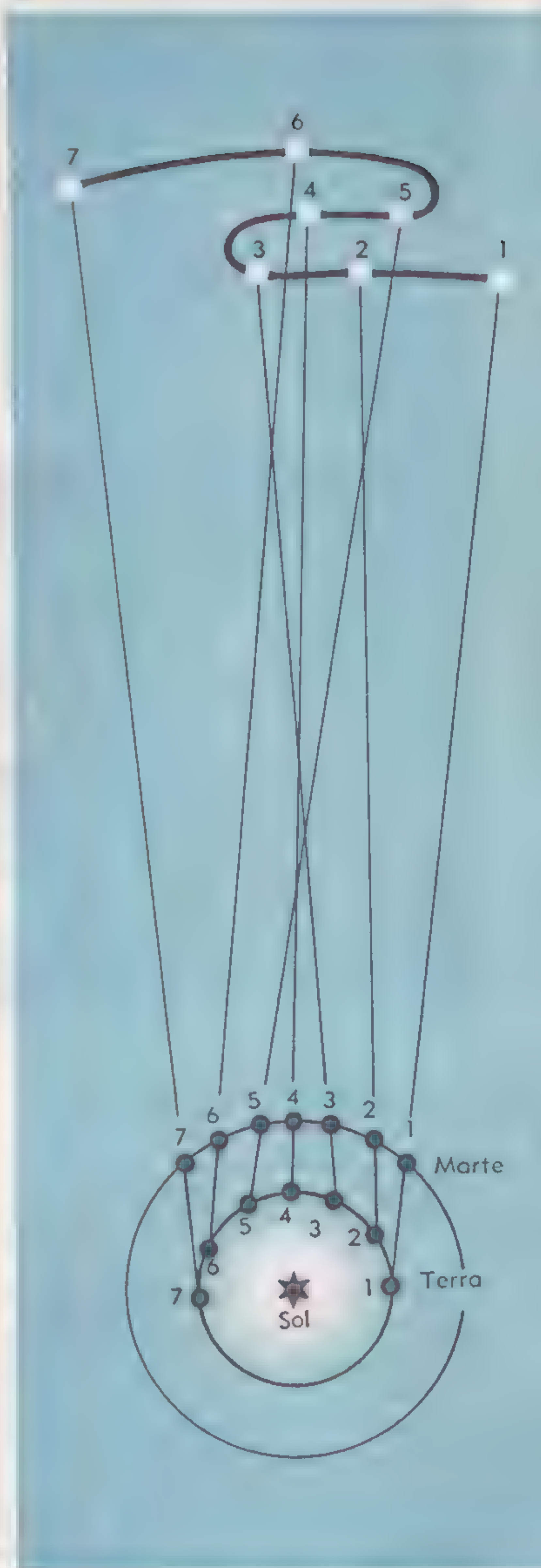
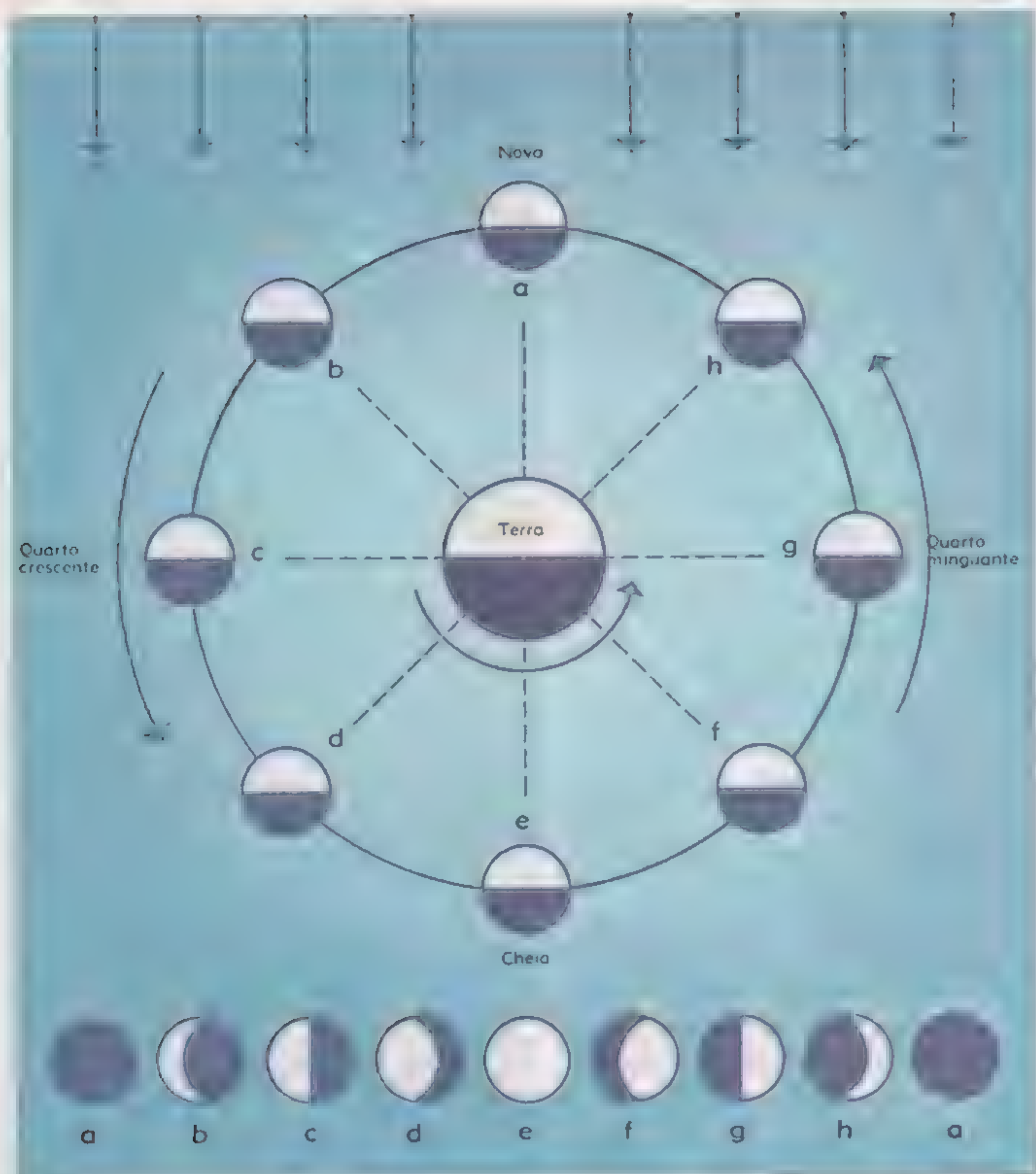
Os nove planetas e seus satélites giram em volta do Sol a distâncias que vão desde 59 milhões de quilômetros, no caso de Mercúrio, até cerca de 6 bilhões de quilômetros, para Plutão, com seus períodos orbitais indo de 88 dias até 249 anos, respectivamente. Assim, apesar de um ser humano médio poder atingir uma idade de mais de trezentos "anos de Mercúrio", nem mesmo Matusalém poderia viver até seu primeiro "aniversário" em Plutão!

Os planetas movem-se todos no mesmo sentido de rotação e quase sempre no mesmo plano. Deste modo, os planetas podem ser sempre encontrados dentro de uma estreita faixa do céu, conhecida como *zodíaco*, em cujo centro se encontra o caminho aparente do Sol contra o fundo de estrelas, a *eclíptica*. As constelações que se encontram nesta região são conhecidas como as constelações do zodíaco, e as posições dos planetas nestas constelações costumavam ser de grande importância para os astrólogos com o fim de "predizer" acontecimentos futuros. Deve ser enfatizado que a astronomia é uma ciência e que não tem a menor relação com a astrologia (embora, na Antigüidade e nos tempos medievais, as duas estivessem relacionadas intimamente).

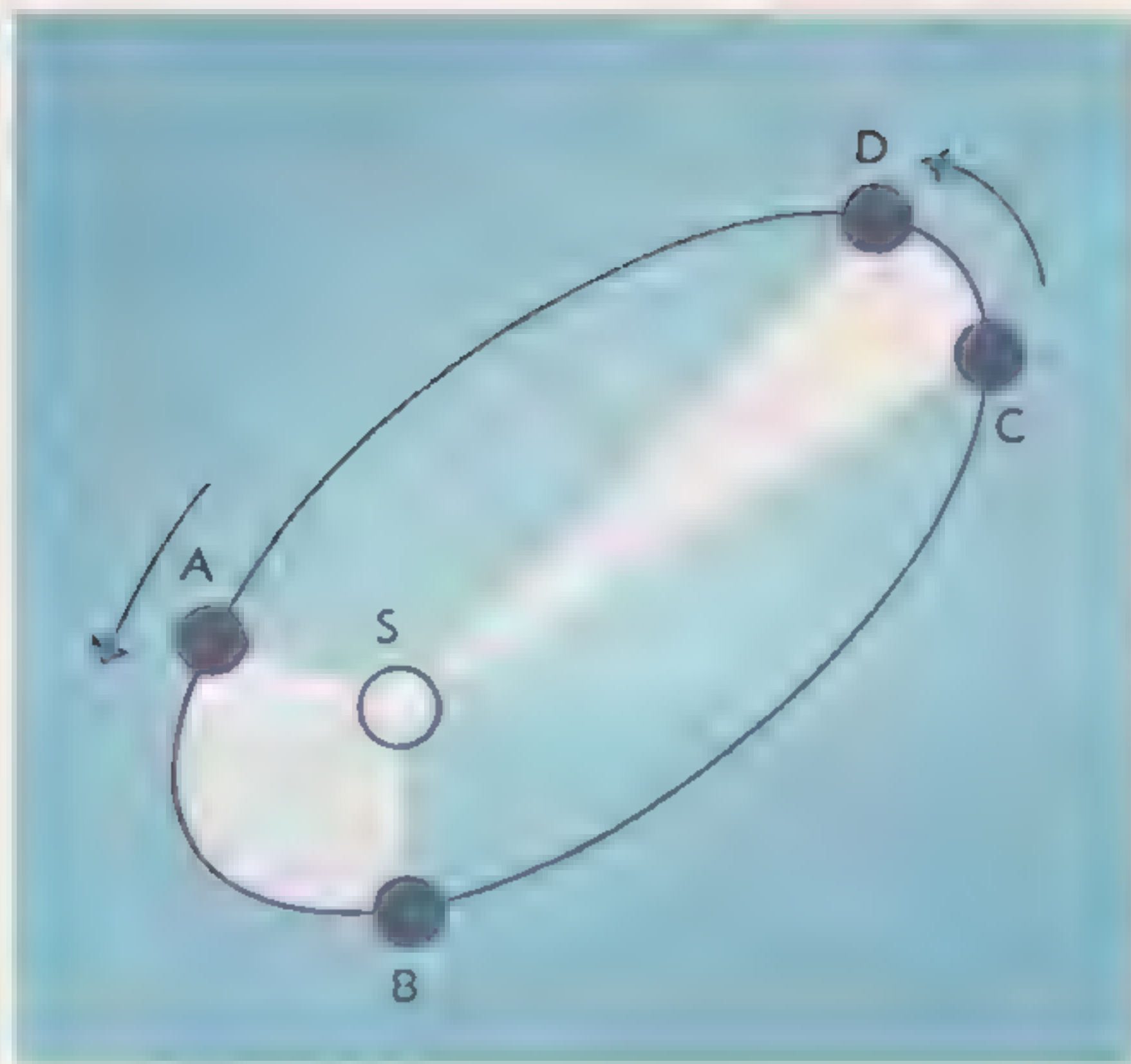
Os planetas parecem avançar lentamente por entre as constelações do zodíaco, com a taxa desse avanço dependendo dos períodos orbitais dos planetas em questão. Todavia, os movi-

Os planetas do sistema solar. Plutão não é mostrado aqui devido a sua órbita encontrar-se parte do tempo fora da órbita de Netuno e, outra parte, dentro dela

mentos aparentes não são uniformes. A direção normal do movimento de um planeta é chamada *movimento direto.* Os planetas, movendo-se fora da órbita da Terra – e, portanto, mais lentamente – parecerão, por vezes, inverter seu movimento e efetuar um movimento *retrógrado.* A razão disto é explicada, para o caso de Marte, no diagrama. O movimento aparente de Marte no céu é mostrado juntamente com as posições relativas da Terra e de Marte. Nas posições de 1 a 3, Marte move-se segundo o movimento direto, enquanto, entre 3 e 5, a Terra está passando para a frente de Marte e este planeta parece mover-se para trás. Depois disso, Marte parece retomar seu movimento normal. As posições 3 e 5 em que o planeta inverte a direção são chamadas pontos estacionários. Um bom exemplo desta espécie de comportamento é dado pela observação do movimento de um carro que estamos ultrapassando, contra um fundo distante.

Kepler mostrou que os planetas se movem em órbitas elípticas. Uma elipse é parecida com um círculo achatado, e diz-se que tem dois focos; um círculo tem apenas um foco, o centro. Uma das maneiras fáceis de desenhar uma elipse é espetar dois alfinetes num pedaço de papel, um em cada foco, passar uma laçada frouxa com barbante ao redor dos alfi-

Este diagrama mostra por que razão os planetas exteriores parecem inverter sua direção no céu

Isto ilustra como as fases da Lua ocorrem. As ilustrações correspondentes, embaixo, mostram como a Lua parece ser vista da Terra, no Hemisfério Sul

netes, esticar o barbante com um lápis e, mantendo-o esticado, desenhar em volta dos alfinetes.

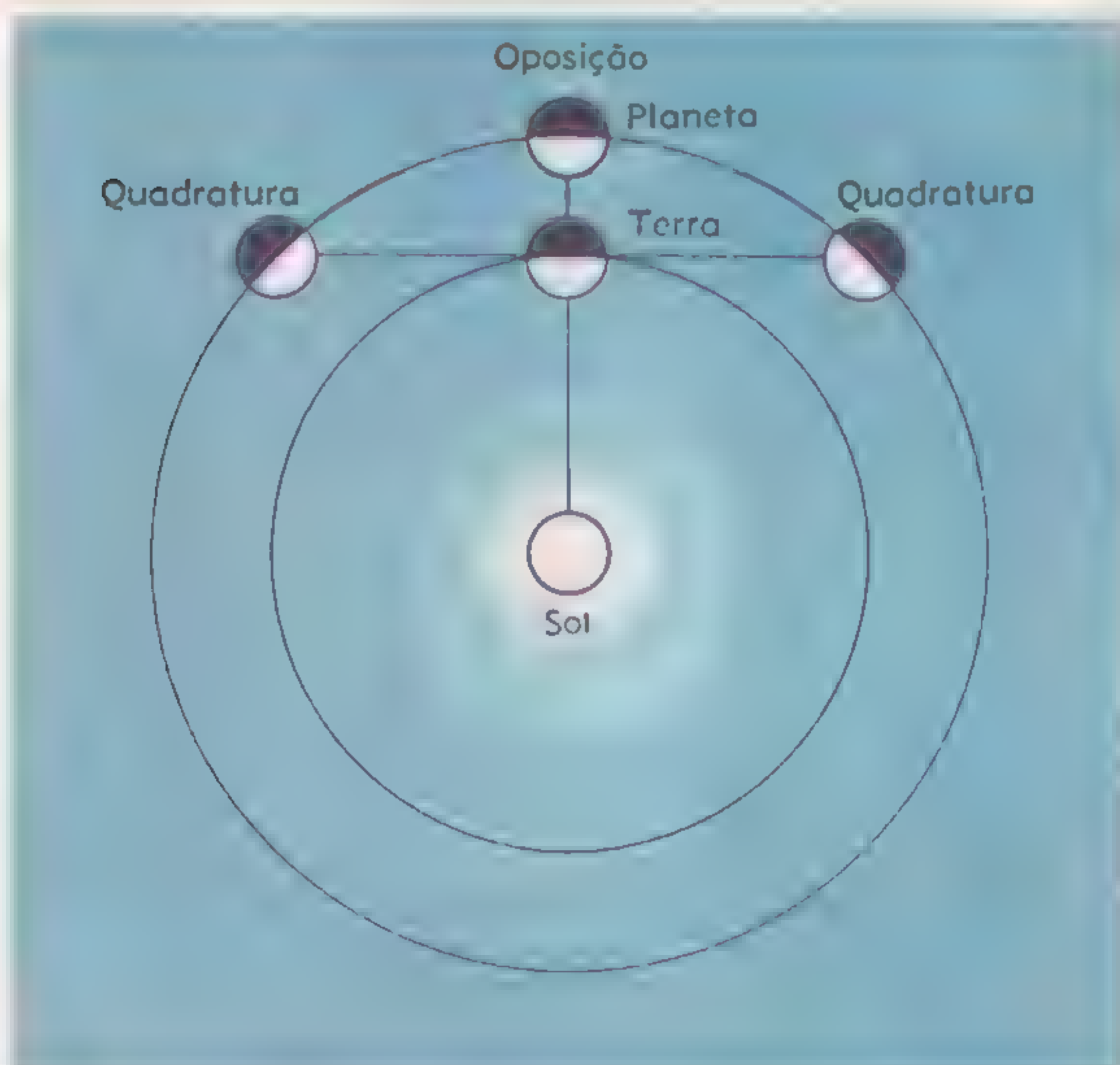
Quanto mais afastados estiverem os focos, mais longa e mais estreita será a elipse – e uma medida da forma de uma elipse é dada pela excentricidade. Quanto maior for a excentricidade, mais estreita será a elipse. Um círculo é simplesmente uma elipse com excentricidade igual a zero. A excentricidade das órbitas planetárias varia de 0,007 (Vênus) até 0,248 (Plutão), enquanto os cometas tendem a apresentar órbitas altamente excêntricas.

Segunda lei de Kepler. A linha entre o Sol e um planeta varre áreas iguais de espaço em tempos iguais. Assim, a área SAB é igual a área SCD

Kepler apresentou três leis de movimento planetário, como se segue:

1. Os planetas movem-se em volta do Sol em órbitas elípticas, com o Sol num dos focos da elipse.
2. A linha entre um planeta e o Sol (o raio vetor) varre áreas iguais em tempos iguais. Assim, um planeta move-se mais rapidamente quando está mais próximo do Sol *(periélio)* e mais devagar, quando se encontra mais afastado dele *(afélio)*.
3. O quadrado do período orbital depende diretamente do cubo da distância de um planeta ao Sol. Deste modo, se a distância de um planeta for conhecida, as distâncias de todos os outros podem ser calculadas se conhecermos seus períodos orbitais.

Quando a Lua viaja em volta da Terra, passa por um ciclo completo de fases, desde a *nova*, quando fica completamente escura e próxima do Sol no céu, até *cheia*, quando seu hemisfério visível fica completamente iluminado e se encontra em oposição ao Sol no céu, voltando até a nova e assim sucessivamente. A razão disto é facilmente verificada no diagrama.

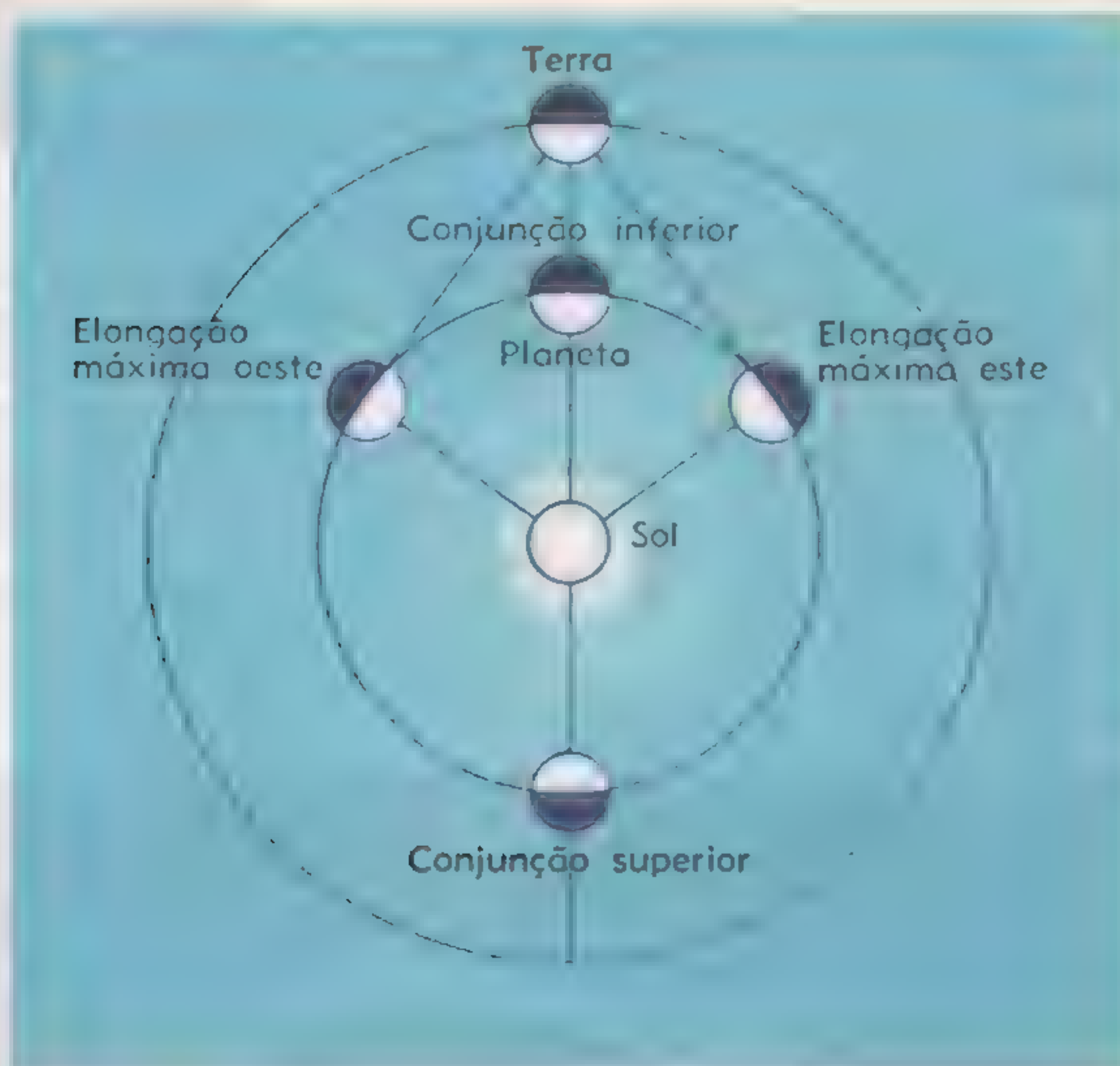
Os planetas Mercúrio e Vênus movem-se em volta do Sol em órbitas menores que a da Terra e apresentam fases, como a Lua. Quando um destes planetas se encontra além do Sol, seu hemisfério iluminado está voltado para nós, enquanto, quando se en-

contra aquém do Sol, seu lado escuro está voltado para a Terra.
Os planetas que se movem em órbitas interiores à da Terra, isto é, Mercúrio e Vênus, são chamados *planetas inferiores*, enquanto os que têm suas órbitas exteriores à da Terra são chamados *planetas superiores*. Quando um planeta se encontra alinhado com o Sol, visto da Terra, diz-se que ele está *em conjunção*. Assim, os planetas inferiores entram em conjunção em dois pontos nas suas órbitas – uma vez quando se encontram entre a Terra e o Sol, *conjunção inferior*, e de novo quando estão além do Sol,

Oposição e quadratura de um planeta

conjunção superior. Os planetas superiores só podem encontrar-se em conjunção superior, já que não podem passar entre a Terra e o Sol.

Quando um dos planetas inferiores se encontra à sua maior distância aparente do Sol, o ângulo entre a Terra, o planeta e o Sol é de noventa graus. Esta posição é chamada *elongação máxima*, este ou oeste, dependendo de o planeta parecer encontrar-se a leste ou a oeste do Sol no céu. Numa elongação leste, o planeta é visível no céu no começo da noite e, numa elongação oeste, ele pode ser visto antes de o Sol nascer. Na elongação

máxima, um planeta mostra meia fase – neste ponto, diz-se que o planeta está em *dicotomia*.

Um planeta exterior que se encontra numa linha que passa através do Sol e da Terra, estará em *oposição*, encontrando-se, então, no seu ponto mais próximo da Terra, e brilhando ao máximo, podendo ser visto melhor no meio da noite. Quando o ângulo entre o Sol, a Terra e o planeta é de noventa graus, diz-se que o planeta está em *quadratura*. O período entre duas sucessivas oposições de um planeta é chamado seu *período sinódico*, e não é o

Conjunção e elongação máxima de um planeta

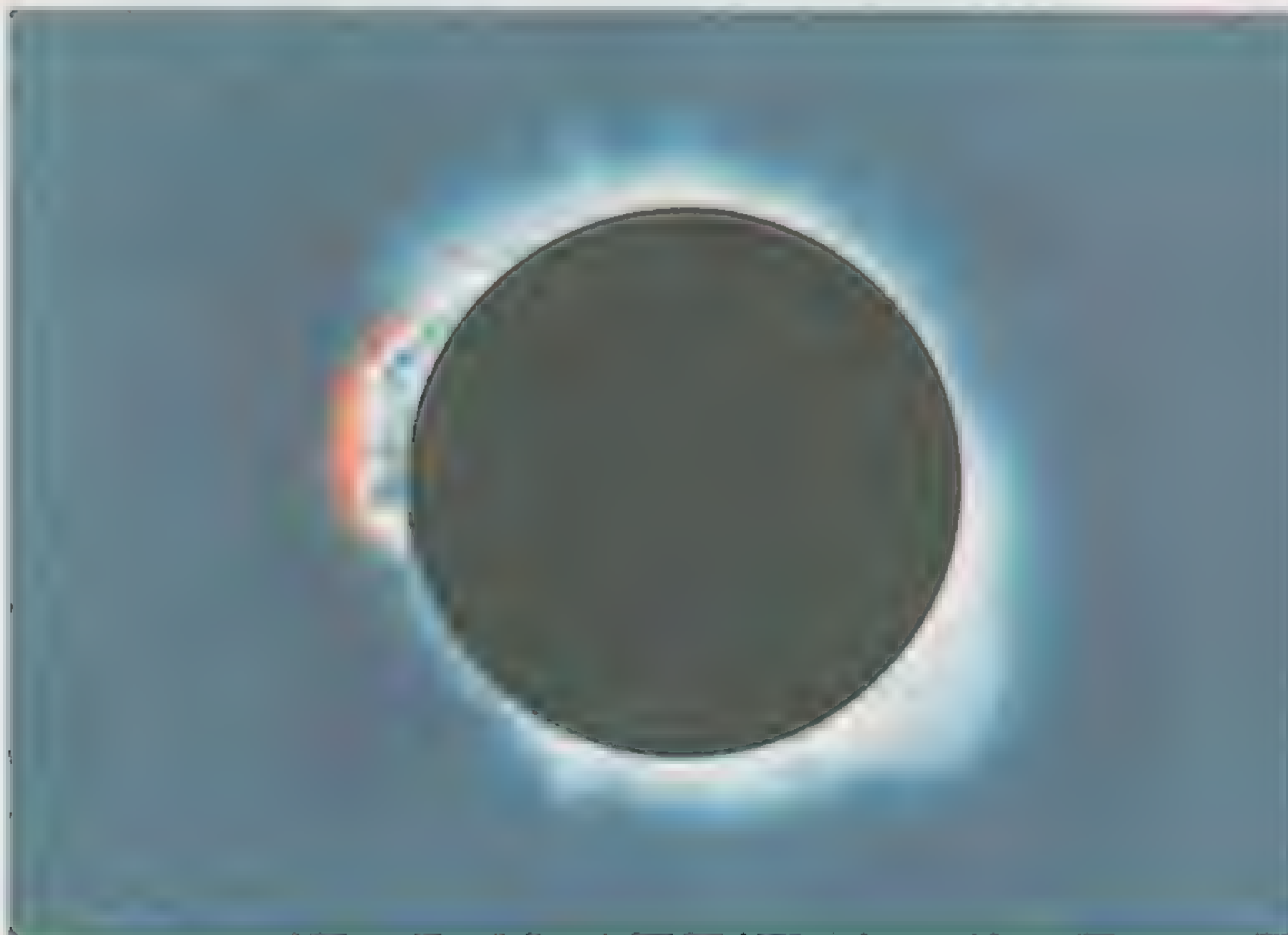
mesmo que seu período orbital, simplesmente porque a Terra está se movendo e, são os movimentos relativos dos dois planetas que dão origem a fenômenos tais como as oposições.

Quando um planeta inferior passa sobre o disco solar, diz-se que está *em passagem*. Se os planos das órbitas dos planetas interiores fossem exatamente iguais ao da Terra, uma passagem ocorreria, então, uma vez em cada período sinódico. Todavia, este não é o caso. As passagens de Mercúrio são relativamente raras (as últimas duas ocorreram em 1970 e em 1973), e as de Vênus são extremamente raras (a próxima passagem será em 2004).

Eclipse solar. Um eclipse total é visto da sombra e um eclipse parcial, da penumbra

Eclipses

Um *eclipse total* do Sol ocorre quando a Lua passa exatamente diante do Sol e obscurece completamente o disco solar, não permitindo vê-lo. Torna-se possível, então, ver as regiões externas do Sol, a *cromosfera* e a *coroa*, que são, normalmente, demasiado difusas para poderem ser vistas. Os eclipses totais são acontecimentos raros, porque a *sombra*, o cone de escuridão, causada pela Lua, mal alcança a Terra e, assim, a área da Terra de onde um eclipse total pode ser visto é, de fato, muito pequena. Todavia,

Eclipse solar total

há uma vasta zona fora da área de totalidade na qual parte do Sol fica escurecida, a *penumbra*, e os observadores podem ver um *eclipse parcial*. Os eclipses parciais são bastante comuns, havendo, pelo menos, dois por ano. A razão pela qual um eclipse do Sol não ocorre todos os meses deve-se ao fato de o plano da órbita da Lua não ser exatamente igual ao da Terra e, assim, é mais provável que a Lua passe por cima ou por baixo do Sol do que diante dele.

É um curioso acidente da natureza que nós possamos ver sempre eclipses verdadeiramente totais do Sol. Na realidade, a Lua está quatrocentas vezes mais perto de nós do que o Sol e, assim, embora o diâmetro do Sol seja quatrocentas vezes maior do que o da Lua, os dois astros parecem exatamente do mesmo tamanho no céu.

Os eclipses da Lua ocorrem quando a Terra se encontra entre o Sol e a Lua (isto é, na Lua Nova) e a Lua passa através da sombra da Terra. Como o diâmetro da Terra é quatro vezes maior do que o da Lua, o resultado é que o cone de sombra da Terra é, correspondentemente, maior e, portanto, os eclipses da Lua, em especial os eclipses totais, são mais comuns do que os eclipses solares. Durante um eclipse da Lua percebe-se claramente que a sombra da Terra sobre a Lua consiste em duas partes: a sombra interior escura, em que o Sol é completamente bloqueado, e a penumbra, em que apenas parte do Sol é obscurecida.

Eclipse lunar

INSTRUMENTOS ASTRONÔMICOS

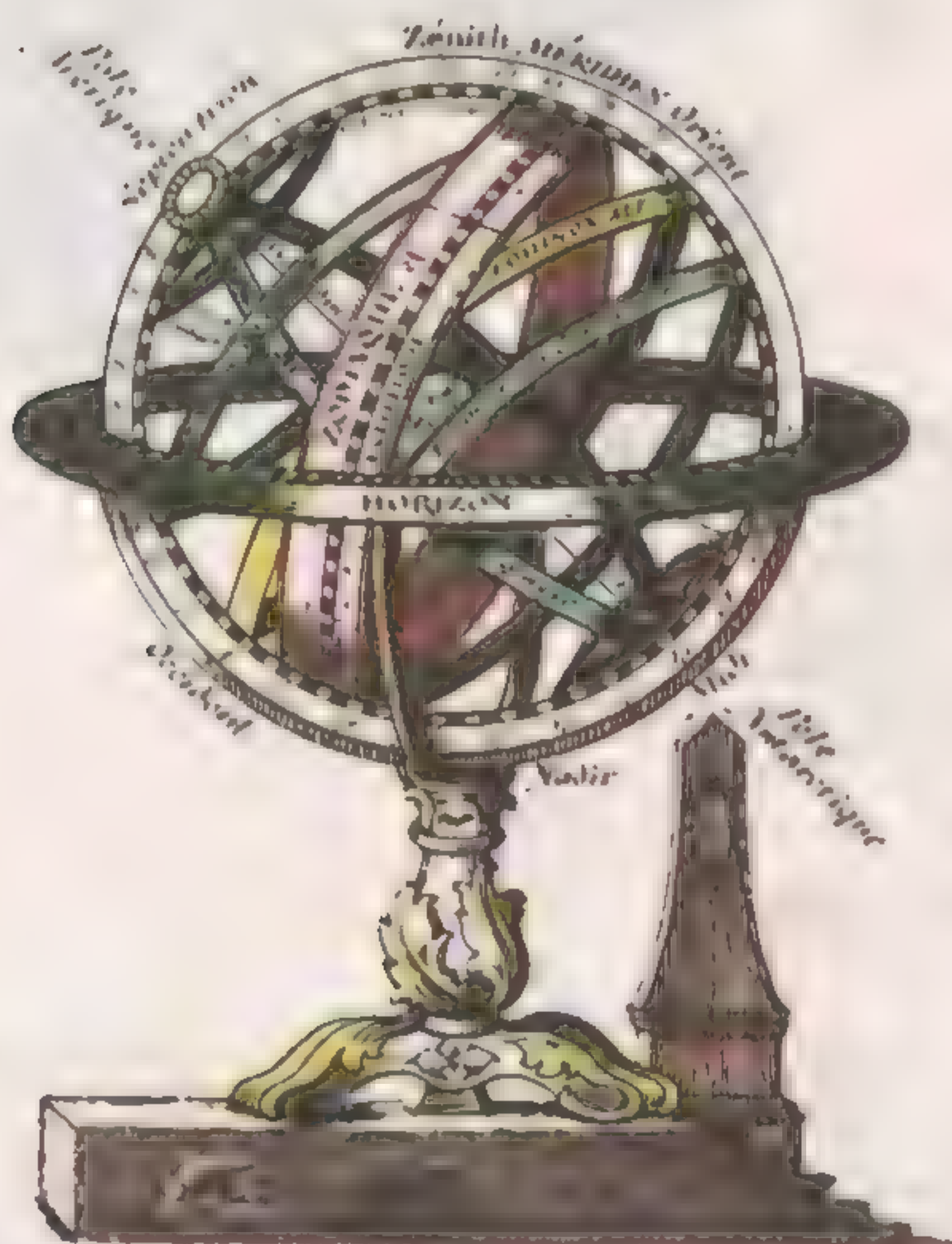
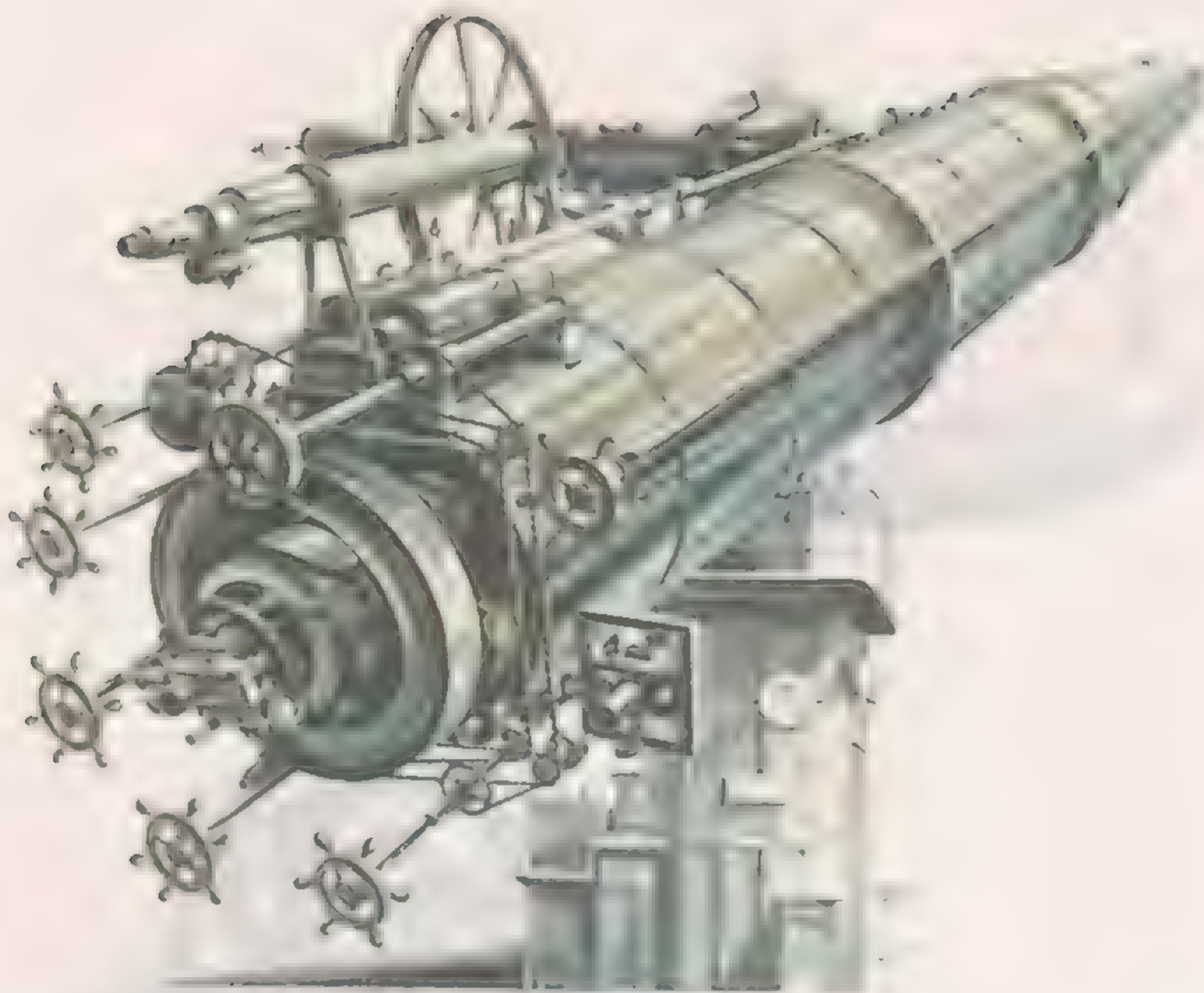
Os primeiros astrônomos tinham apenas seus olhos para fazerem observações e, assim, elas tendiam a ser bastante inexatas. Todavia, certos instrumentos, como o relógio de sol, estão em uso há muitos milhares de anos – os antigos chineses certamente os conheciam. A forma mais simples dos relógios de sol é uma vara cravada no chão: o tempo solar aproximado é dado pela posição da sombra da vara.

Os relógios de sol mais sofisticados podem ser calibrados com razoável precisão. Como a Terra gira de oeste para leste, é evidente que, em qualquer momento, a hora mostrada num relógio de sol, digamos, em Brasília, será diferente da hora mostrada por um relógio semelhante em Londres. Na realidade, há uma diferença de uma hora para cada quinze graus de longitude na Terra. Assim, se fosse meio-dia no Brasil, seriam quinze horas em Londres. A situação ainda se torna mais complicada pelo fato de a Terra girar sobre seu eixo em 23 horas e 56 minutos, embora, devido a seu movimento em torno do Sol, o período entre duas passagens sucessivas do Sol pelo meridiano seja de 24 horas. O *tempo sideral* está relacionado com período de rotação real da Terra.

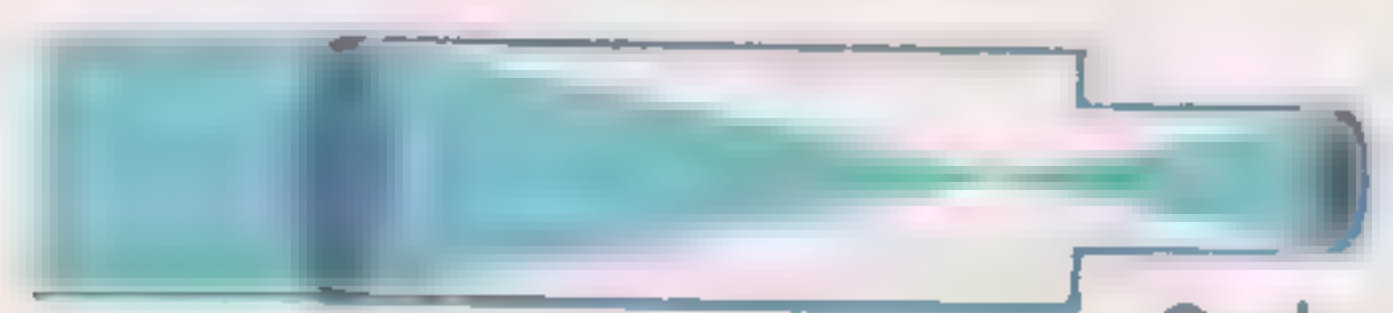
Os astrônomos medievais aperfeiçoaram vários instrumentos úteis, como o *astrolábio*, que era usado para encontrar a posição dos astros. Tais instrumentos eram trabalhosamente gravados por artesãos de maneira artística e os exemplares que ainda restam são de grande valor. A *esfera armilar* era uma espécie de globo celeste que mostrava características como o zodíaco e o equador celeste. Para traçar posições estelares e planetárias exatas, usava-se o *quadrante*, com o qual se podia medir as altitudes das estrelas acima do horizonte. Tycho Brahe, no século XVI, conseguiu fazer medições com uma margem de erro de apenas dois minutos de arco, usando quadrantes bastante perfeitos.

A astronomia foi revolucionada pela invenção do telescópio no início do século XVII pelo fabricante de óculos holandês Hans Lippershey. O instrumento de Lippershey usava lentes e esse tipo de telescópio chama-se *refrator*. Certas dificuldades surgidas nos telescópios refratores levaram ao seu aperfeiçoamento, por Newton e Gregory, que usaram espelhos, criando o hoje chamado telescópio *refletor*.

Dois dos telescópios de Galileu

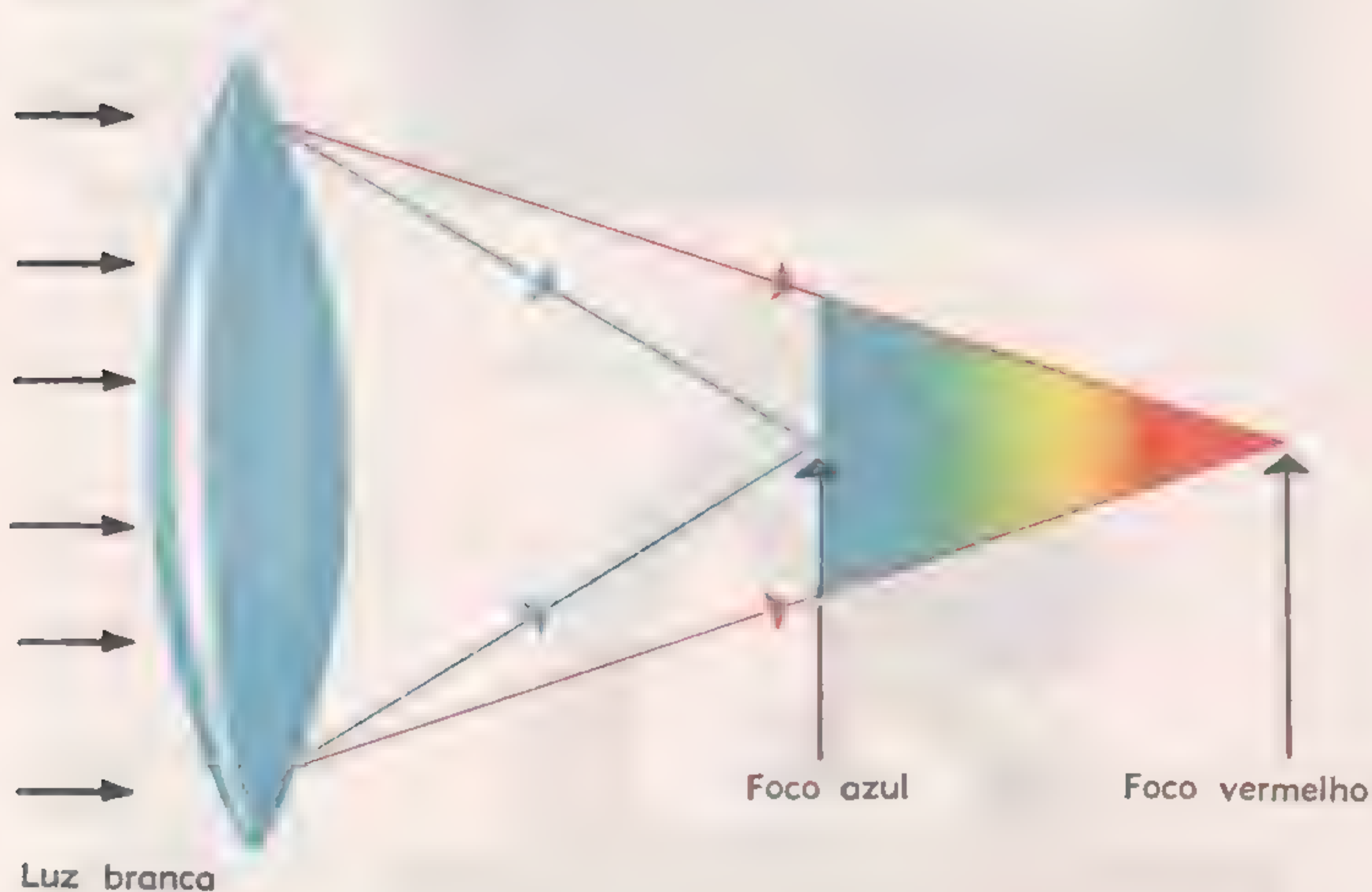
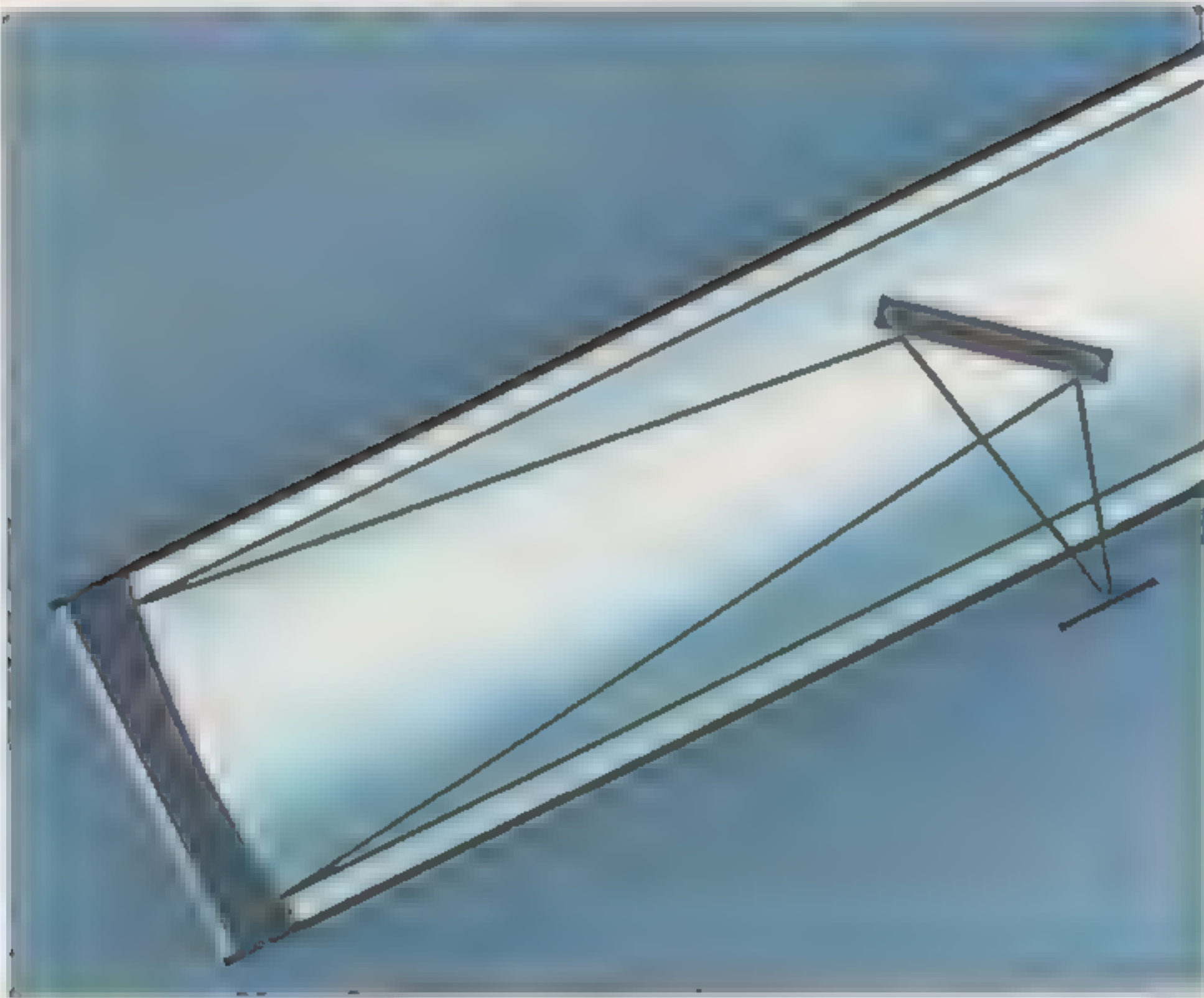
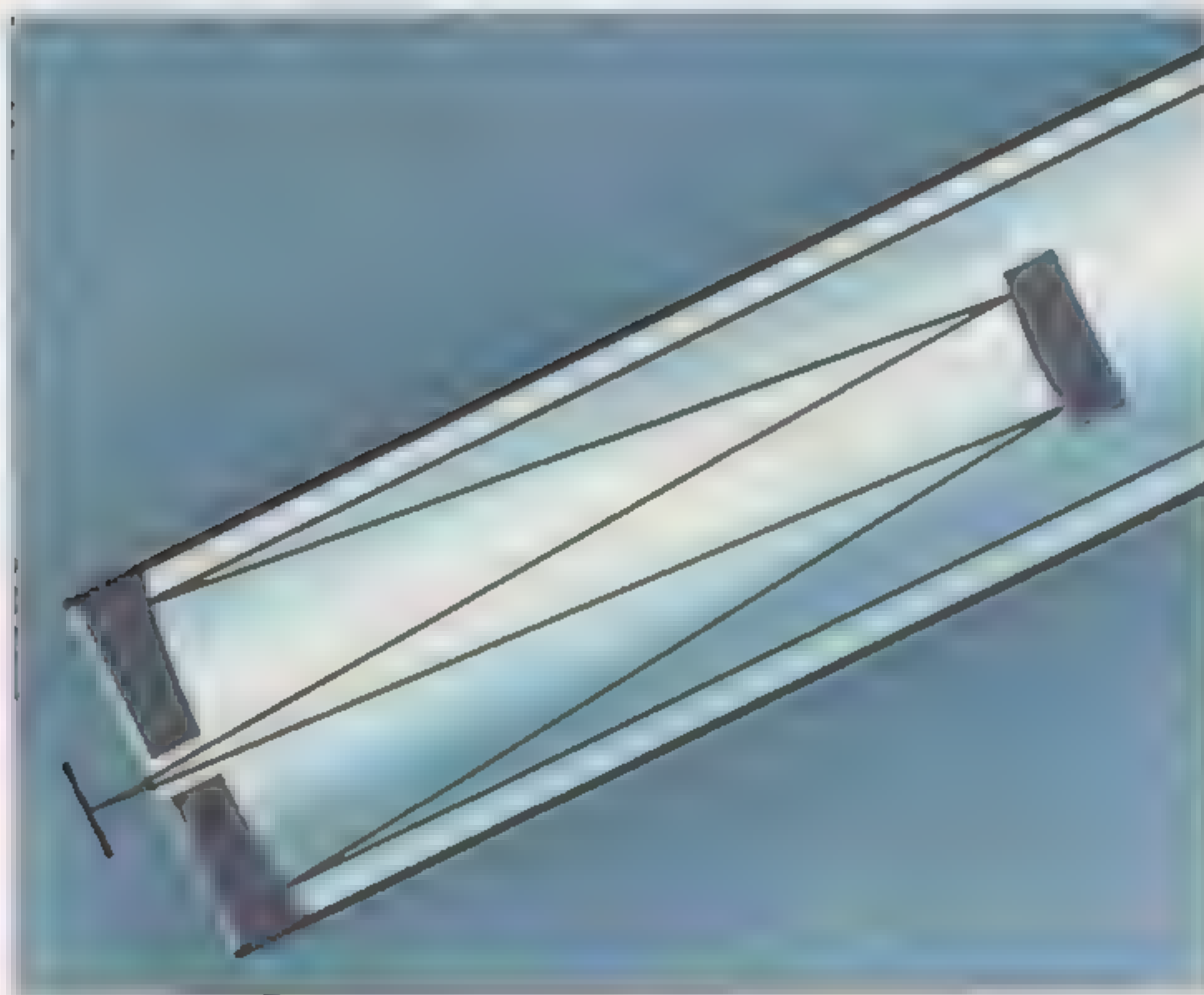
Relógio de sol

(Em cima) Esfera armilar. Os anéis representam os círculos principais da esfera celeste. Estes dispositivos eram usados de várias formas pelos primeiros astrônomos para determinar as posições dos astros. *(À esquerda)* Um quadrante

Refrator Yerkes, no Observatório Yerkes, perto de Chicago. O comprimento focal é de cerca de 21 m

O refrator

O princípio do telescópio refrator é mostrado na ilustração. Quando um feixe de luz passa de um meio menos denso, como o ar, para outro mais denso, como o vidro, ele é desviado, isto é, refratado, de sua direção original. Uma lente convexa (conhecida como *lente positiva)* fará com que raios de luz de um objeto distante convirjam para um ponto, chamado o *foco* da lente, onde uma pequena imagem do objeto será formada. A distância da lente para o foco é chamada *distância focal* e a relação entre a distância focal e o diâmetro, ou *abertura,* de uma lente, chama-se *razão focal*.

O princípio do telescópio refrator

O refrator consiste basicamente em duas lentes, a *objetiva* e a *ocular*. A objetiva é uma lente de grande abertura com uma distância focal longa e grande razão focal, que forma uma imagem do objeto observado. Esta imagem é, então, vista e aumentada por meio da ocular, que é uma lente pequena e de curta distância focal. O telescópio astronômico normal usa uma ocular convexa e produz uma imagem invertida. Os telescópios de Galileu usavam oculares côncavas (negativas) que davam imagens diretas. Este sistema é usado nos binóculos de teatro, mas não é muito eficiente. Os telescópios para observações terrestres empregam outras lentes para inverter a imagem.

O refrator simples sofre de um defeito muito sério. A luz branca é composta de uma mistura de todas as cores, desde o vermelho até o violeta, e a dificuldade é que todas estas cores são diferentemente refratadas na mesma lente. O resultado é que a distância focal de uma determinada lente é muito menor para a luz azul, por exemplo, do que para a luz vermelha e, assim, qualquer objeto visto pela ocular apresentará franjas coloridas muito marcadas em sua volta. Uma das maneiras de diminuir este efeito é fazer a distância focal da objetiva excessivamente longa; isto conduziu à construção de instrumentos muito volumosos. Chester More Hall solucionou virtualmente o problema quando, em 1729, inventou a *lente acromática*, uma lente composta, feita de diferentes tipos de vidro, que tendia a cancelar o falso efeito colorido. O maior refrator existente é o gigante de 1 m de abertura que se encontra no Observatório de Yerkes, perto de Chicago, nos Estados Unidos.

Aberração cromática numa lente simples

O princípio do telescópio refletor newtoniano

O princípio do telescópio refletor Cassegrain

Montagem equatorial para telescópio

O refletor

O telescópio refletor substitui a objetiva por um espelho. Um espelho côncavo com forma adequada reflete os raios de luz para um foco e a imagem resultante pode ser vista, então, por meio de uma ocular. Para que todos os raios sejam refletidos para o foco, a forma da superfície do espelho tem de ser parabolóide, que é apenas ligeiramente diferente de uma esferóide, e fácil de fabricar. Para os espelhos de pequena abertura, uma superfície esférica serve perfeitamente. Os refletores não produzem qualquer aberração cromática.

Há vários tipos de refletor e os princípios de dois destes tipos são mostrados aqui. Uma das dificuldades é onde colocar a ocular para ver a imagem. Obviamente, como a imagem é formada diante do espelho, se a ocular fosse colocada no foco, a cabeça do observador bloquearia toda a luz do objeto que estivesse sendo examinado. No refletor newtoniano, um pequeno espelho plano é colocado diagonalmente logo antes do foco. Este espelho reflete o ponto focal para o lado do tubo do telescópio, onde a ocular é colocada. No sistema Cassegrain, um pequeno espelho convexo reflete o ponto focal por um buraco no espelho principal. Este sistema tem a vantagem de uma longa distância focal poder ser acomodada num tubo relativamente curto.

O maior telescópio refletor é o Hale de 5 m de abertura, em Monte Palomar, na Califórnia.

Montagens de telescópios

É essencial que os telescópios poderosos sejam montados rigidamente e que seus suportes sejam tais que o instrumento possa ser facilmente apontado para qualquer parte do céu e o movimento aparente de um planeta possa ser seguido. A montagem mais simples, a *altazimutal*, consiste basicamente num eixo vertical e num horizontal. O movimento em volta do eixo vertical gira o telescópio numa direção paralela ao horizonte, enquanto que o movimento sobre o eixo horizontal move o telescópio em altitude. Se o eixo vertical for inclinado de maneira a ficar paralelo com o eixo da Terra, então, o movimento, só por si, em volta deste eixo, o *eixo polar*, rastreará um planeta. Esse tipo é chamado montagem equatorial. Todos os grandes telescópios têm montagens equatoriais, com o eixo polar sendo acionado numa velocidade adequada para compensar a rotação da Terra.

Telescópios especiais

A fotografia astronômica tem-se tornado, desde meados do século XIX, de importância crescente e, hoje, quase todo o trabalho realizado num grande observatório é feito fotograficamente. A observação direta feita no telescópio é muito pouca e a imagem popular de um astrônomo sentado, durante as noites frias, junto à ocular, já não faz sentido. O uso da fotografia levou ao aperfeiçoamento de telescópios especiais, como o telescópio Schmidt.

Os telescópios comuns mostram apenas uma área muito pequena do céu - um grau ou ainda menos - de cada vez e, em muitos casos, é desejável fotografar zonas muito mais amplas do que isso. O *telescópio Schmidt* ("câmara" talvez seja uma designação melhor, pois esse telescópio nunca é usado visualmente) dispõe de um espelho esférico de foco curto, para formar uma imagem de ampla área do céu numa chapa fotográfica colocada no foco. O espelho esférico, só por si, distorceria a imagem e, assim, uma placa de vidro com forma adequada é colocada diante do espelho para corrigir essas distorções.

Os telescópios fotográficos têm de ser acionados muito exatamente, já que exposições muito longas da chapa fotográfica têm de ser feitas freqüentemente para detectar objetos de brilho fraco.

(À esquerda) Telescópio Schmidt

(Ao lado) Radiotelescópio de 83 m, em Jodrell Bank, na Inglaterra

Radiotelescópios

Em 1933, um engenheiro eletrônico norte-americano, Karl Jansky, ao investigar problemas das interferências, em radiocomunicação, descobriu acidentalmente ondas de rádio alcançando a Terra, vindas do espaço. Esta radiação foi identificada, depois, como vindo de uma fonte distante na galáxia. Desde 1945 até hoje, o progresso na radioastronomia tem sido rápido. Já se conhecem, agora, muitas fontes cósmicas de rádio: o Sol, por exemplo, emite ondas de rádio e, também, há alguma radioemissão do planeta Júpiter.

Há muitos tipos de radiotelescópios para recolher estas ondas, desde simples antenas até complexas baterias de antenas. O tipo mais semelhante aos telescópios ópticos é o refletor em forma de disco, sendo o exemplar mais conhecido o de Jodrell Bank, na Inglaterra, com cerca de 76 m de diâmetro. Tais instrumentos refle-

Radiointerferômetro

tem as ondas de rádio para um receptor no foco do disco O sinal, então, é amplificado e registrado.

Quanto a outros tipos de radiotelescópios, um dos mais importantes é o *interferômetro*, que se serve do fenômeno da *interferência*. As ondas de luz e de rádio consistem em radiação eletromagnética, e ambas viajam à "velocidade da luz", 300 mil quilômetros por segundo. As ondas eletromagnéticas sob certos aspectos podem ser consideradas semelhantes às ondas da água, com a distância entre uma crista e a seguinte sendo o comprimento de onda, e estas ondas vêm em todos os comprimentos, indo desde os raios gama e X, com comprimentos de onda de cerca de dez bilionésimos de centímetro, até ao tipo de ondas usadas para as emissões radiofônicas com comprimentos de onda de um quilômetro ou mais. O comprimento das ondas da luz é da ordem de dez milionésimos de centímetro.

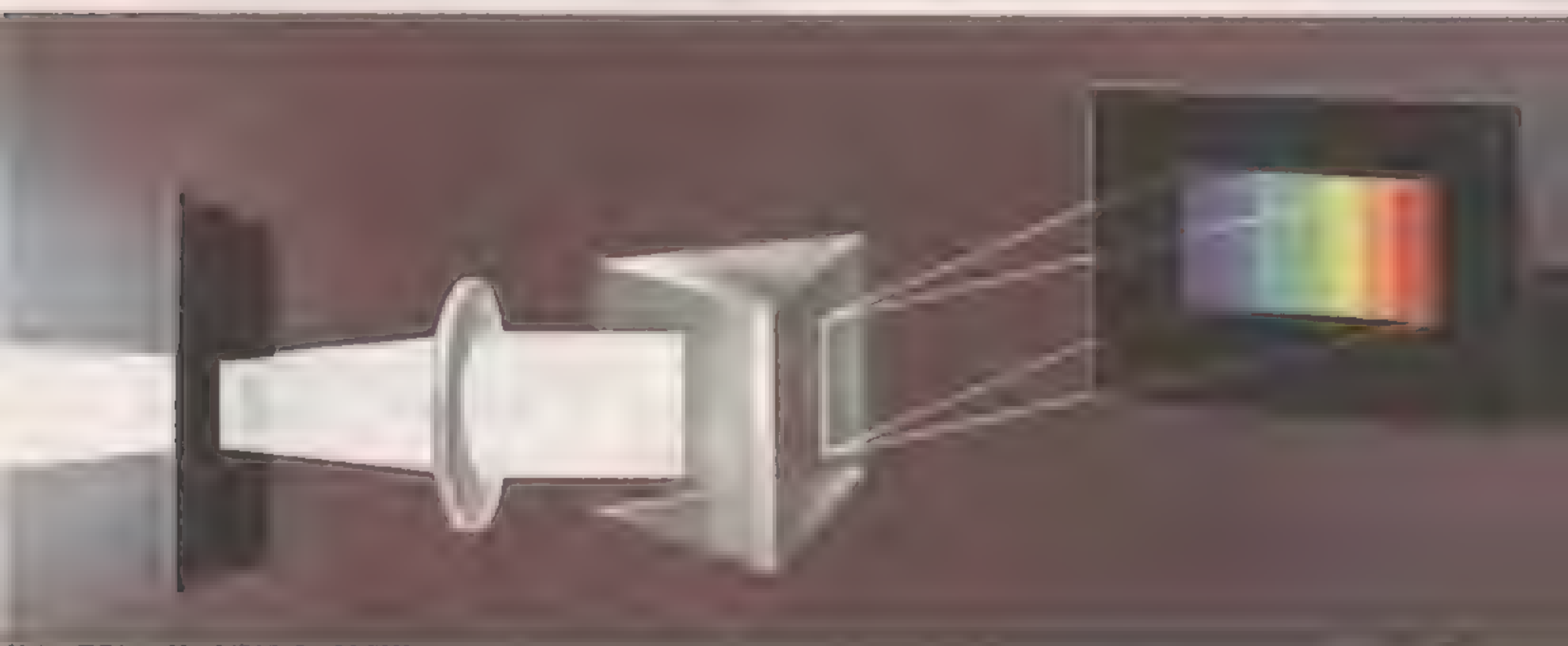
Quando duas ondas eletromagnéticas se encontram, diz-se que se interferem. Se duas cristas se sobrepuserem, o resultado será um sinal mais forte, enquanto que, se uma crista e uma depressão se encontrarem, nenhum sinal resultará. O radiointerferômetro consiste em dois ou mais receptores, com disco ou não, colocados a distâncias conhecidas uns dos outros. Os sinais que recebem são combinados e, ajustando os ângulos dos receptores para se obter um certo tipo de padrão de interferência no sinal resultante, a posição de uma fonte de rádio poderá ser medida com exatidão.

Na radarastronomia, a distância dos planetas é medida pelo eco de um sinal de rádio refletido por um planeta e observando-se o tempo despendido pelo sinal para ir da Terra ao planeta e dele retornar.

Ondas de luz, longas e curtas

O espectroscópio

Newton mostrou que, quando a luz branca passa por um prisma de vidro, ela é decomposta em todas as cores, desde o vermelho ao violeta. A luz branca consiste numa mistura de luzes de diferentes comprimentos de onda, com cada comprimento de onda correspondendo a uma determinada cor. Quanto mais curto for o comprimento de onda da luz, mais ela é refratada no prisma e, assim, a luz azul, que tem um comprimento de onda curto, é refratada mais do que a luz vermelha, que tem um comprimento de onda mais longo. Quando a luz é dispersada dessa forma, obtém-se o espectro. Os espectros do Sol, das estrelas e dos planetas contêm linhas escuras características, causadas pelos efeitos de absorção das camadas circundantes de gases de vários elementos. O espectroscópio permite que os astrônomos descubram que materiais estão presentes nos astros distantes.

O princípio do espectroscópio

Júpiter, visto através de um grande telescópio

A bruma atmosférica diminui grandemente o número de estrelas que podemos ver. *(Em cima)* Parte do céu, como seria visto se não houvesse atmosfera e *(embaixo)* estrelas vistas através da bruma atmosférica

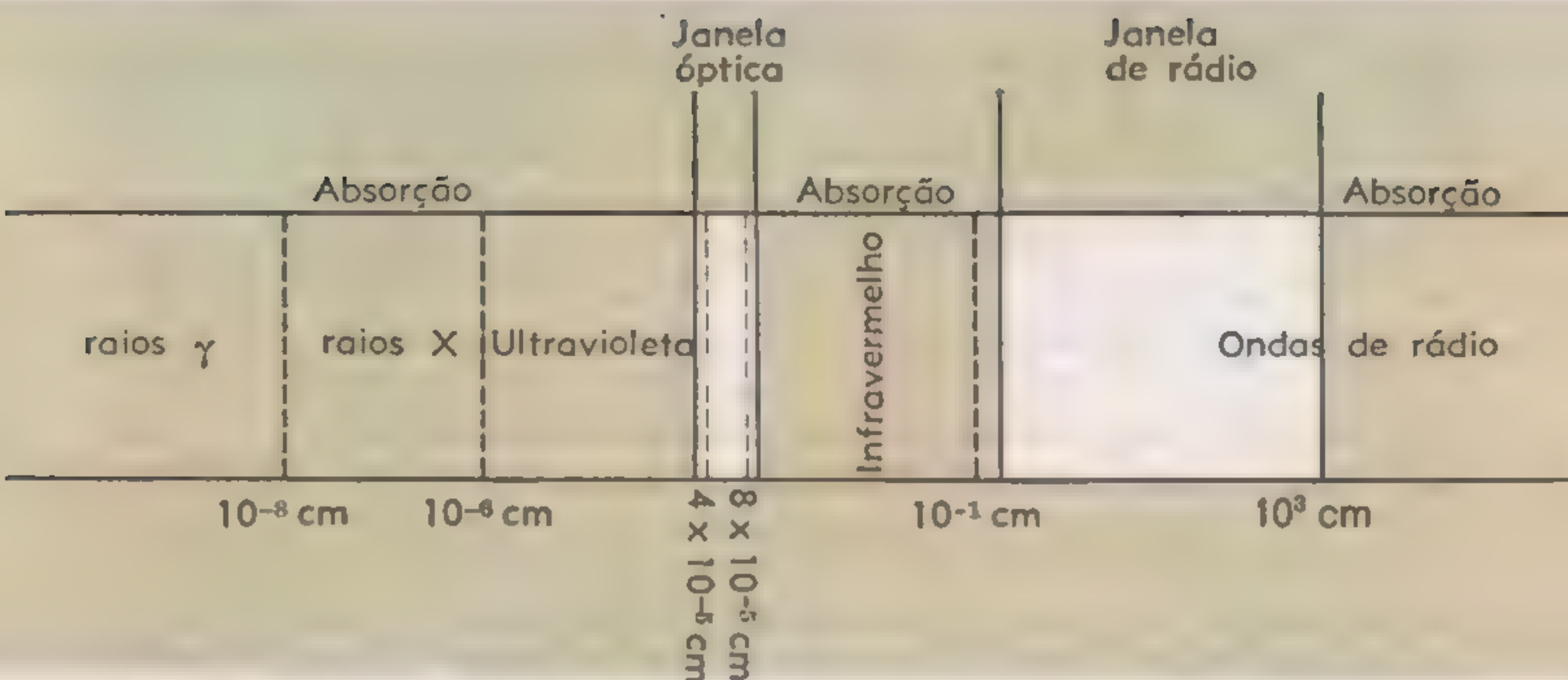
Poder de resolução

Um fator importante em qualquer telescópio usado para explorar os planetas é seu *poder de resolução*. Por outras palavras, qual é o tamanho da menor estrutura distinguível sobre a superfície de um planeta? O poder de resolução é definido como sendo a separação angular de duas fontes punctuais de luz, que podem ser vistas como apenas separadas no campo de visão de um telescópio, e isto proporciona uma boa referência quanto à menor estrutura que pode ser vista sobre um planeta. O poder de resolução R de um telescópio é dado em segundos de arco pela simples fórmula $R = \frac{11,6}{d}$, em que d é a abertura do telescópio em centímetros. Assim, um refrator de 5 centímetros pode mostrar estruturas até cerca de 2,3 segundos e um refletor de 25 centímetros, até 0,46 de segundo. Observando a Lua, tais poderes de resolução corresponderiam a crateras com cerca, respectivamente, de 4 quilômetros e de 800 metros de diâmetro.

Para calcular o tamanho da menor estrutura que determinado telescópio pode mostrar num planeta, é necessário conhecer o diâmetro angular do planeta. Os diâmetros angulares dos planetas dependem da sua distância da Terra e do seu tamanho. Os planetas superiores estarão no seu ponto mais

próximo e terão seu máximo diâmetro angular quando na oposição, enquanto os planetas inferiores, na conjunção inferior. O diâmetro angular máximo de Júpiter é de cerca de 50 segundos, enquanto, até mesmo na oposição mais favorável, o máximo que Marte pode atingir é 25 segundos. Considerando Marte numa boa oposição, um telescópio de 25 centímetros mostrará estruturas de aproximadamente 0,5 de segundo de diâmetro, ou seja 1/50 do diâmetro do planeta. Marte tem aproximadamente 6 500 quilômetros de diâmetro e, desse modo, a menor estrutura que esse telescópio deveria mostrar seria algo com cerca de 130 quilômetros de diâmetro.

Na maioria das noites, mesmo quando o céu está claro, um telescópio não alcança seu limite teórico de resolução devido ao efeito da atmosfera sobre a luz dos planetas. Muitas vezes, um planeta poderá parecer trêmulo e pouco firme (os astrônomos, então, dizem que a visibilidade é má), e só ocasionalmente é que a imagem será cristalina.

Observatório de Lick, na Califórnia. A vasta cúpula abriga o refletor de 3 m

As janelas ópticas e de rádio

O problema da atmosfera

Devido à atmosfera, as únicas radiações que alcançam a Terra sem grandes obstáculos são a luz visível e certas ondas de rádio, nos comprimentos de onda de 0,1 de centímetros a 10 metros. Estas pequenas partes do espectro eletromagnético são conhecidas respectivamente como a *janela óptica* e a *janela de rádio*.

Parte da superfície da Terra,
vista de um satélite

Como os nossos olhos só podem ver a luz visível, isto é, aquela parte estreita do espectro eletromagnético com comprimentos de onda entre 4.000 e 8.000 angströns (um angström é um centésimo de milionésimo de um centímetro), precisamos de outras formas de detectores para registrar outras radiações.

Os raios X e a luz ultravioleta podem ser detectados fotograficamente, usando filme adequado, mas nenhuma tentativa útil para conseguir isto poderá ser realizada de observatórios em terra. Todavia, certas radiações de comprimento de onda mais longo do que o da luz visível e mais curto do que o das ondas de rádio podem chegar até nós. Estas ondas são as *infravermelhas*. Já foram construídos detectores adequados para registrar essa radiação, mas, na superfície da terra, os resultados obtidos são muito pobres. O vapor de água e o gás carbônico são particularmente eficientes na extinção de raios infravermelhos, e a atmosfera contém grandes quantidades desse vapor e desse gás.

A única solução real para esse problema é ficar por cima da atmosfera. Um observatório espacial poderia observar a totalidade do espectro eletromagnético vinte e quatro horas por dia. Observar os planetas no ultravioleta e no infravermelho é de grande interesse. Um telescópio óptico de 40 centímetros seria, nesse caso, tão eficiente quanto o maior telescópio na superfície da Terra.

Fotografia em raios X do Sol, feita de um foguete (Fotografia oficial da Marinha dos Estados Unidos)

NAVES ESPACIAIS

Há incontáveis anos, os astrônomos sonham com poder ir acima da atmosfera e, na realidade, há já algumas décadas tem sido possível enviar instrumentos astronômicos acima de uma boa parte da atmosfera, por meio de balões cheios de hidrogênio ou de hélio. O hélio é usado mais comumente porque o hidrogênio forma uma mistura inflamável com o oxigênio. Como estes gases são muito mais leves (menos densos) do que o ar, o resultado é que esses balões tendem a elevar-se acima das partes densas e mais baixas da atmosfera, até alcançarem um nível em que a densidade do ar se torna mais ou menos igual à do gás dentro do balão. Assim, pequenas quantidades de equipamento podem ser enviadas a altitudes de mais de 30 quilômetros. Mas isto, é claro, está longe de ser um vôo espacial.

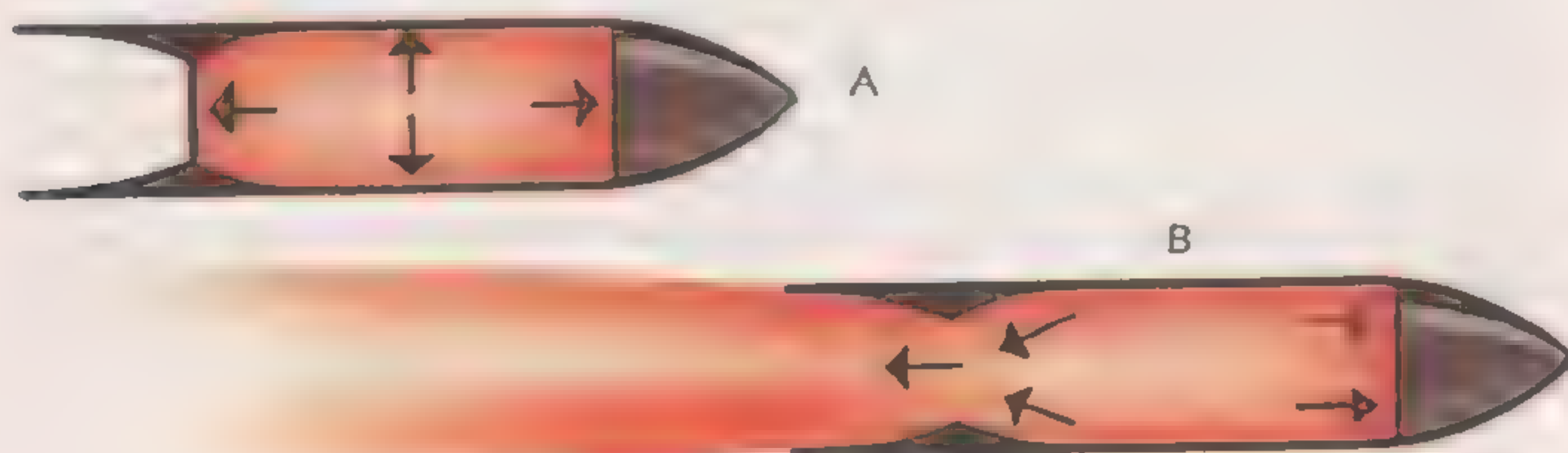
No século II d.C., o escritor grego Luciano compôs uma das primeiras histórias de ficção científica, na qual um navio cheio de homens foi apanhado por uma tromba-d'água e lançado para a Lua. Seguiram-se muitas outras histórias, incluindo uma em que o herói

Lançando um balão de grande altitude

(À esquerda) Cabina almofadada do projétil espacial de Júlio Verne. *(À direita)* Robert Goddard lançou o primeiro foguete do mundo com combustível líquido, em 1926

foi rebocado para a Lua por um bando de cisnes selvagens. Uma idéia bem melhor foi sugerida pelo famoso autor francês Júlio Verne no seu livro *Da Terra à Lua*. Sua idéia foi disparar uma grande cápsula, contendo seus viajantes espaciais, de um enorme canhão com uma velocidade de 11 quilômetros por segundo, suficiente para a levar até à Lua. Infelizmente, uma tal cápsula seria, com certeza, destruída pelo atrito atmosférico e, de todos os modos, o choque de uma tão súbita aceleração mataria, por certo, os membros da tripulação.

Todavia, Júlio Verne estava correto num aspecto: um projétil viajando a 11 quilômetros por segundo poderia, certamente, alcançar a Lua se fosse apontado corretamente. Essa velocidade é aproximadamente a velocidade de escape da Terra. Se lançarmos uma pedra para cima, ela alcançará determinada altura e, depois, voltará a cair. Se, contudo, encontrássemos uma forma de lançar a pedra à velocidade de escape, ela conseguiria vencer completamente a atração da gravidade da Terra e continuaria subindo sempre.

(Em cima) Lançamento de um foguete V2. *(Embaixo)* O principio da propulsão do foguete. Em *a*, o bocal está fechado e as forças de pressão interna estão em equilíbrio. Em *b*, o bocal está aberto e a força que atua sobre a face oposta deixa de ficar equilibrada. O resultado é movimento

Foguetes

Os aviões seriam inviáveis, no espaço interplanetário, por duas razões. Em primeiro lugar, suas asas precisam de ar para lhes proporcionar sustentação a fim de continuarem voando e, em segundo, as hélices requerem ar para poderem funcionar e proporcionar o impulso para a frente. Até mesmo os próprios aviões a jato requerem grande abastecimento de ar e, é claro, não há ar no espaço interplanetário. Assim, as viagens para os planetas exigem um meio de propulsão inteiramente diferente – o foguete. Todos os foguetes, desde os dos fogos de artifício até as naves interplanetárias, utilizam aquilo a que Newton chamou *princípio de reação*. Este princípio é facilmente ilustrado por meio de um balão. Quando um balão está completamente inflado e com sua extremidade fechada, há uma pressão igual de gás em cada ponto dentro dele. Se a extremidade for aberta, o gás escapará rapidamente por essa abertura e o balão partirá na direção oposta.

Um balão libertado dessa forma não irá muito longe – depressa gastará todo o gás nele contido e perderá sua velocidade devido ao atrito com a atmosfera. O motor do foguete transporta seu combustível e este é queimado dentro dele, a fim de produzir gases quentes numa taxa controlada. Os gases em expansão proporcionam o empuxo que movimenta o foguete. Muitos dos foguetes menores (incluindo os dos fogos de artifício) usam combustível sólido acondicionado na unidade motriz, mas quase todos os maiores usam combustíveis líquidos bombeados dos tanques para o motor, numa taxa conveniente.

A teoria do foguete de combustível líquido foi publicada há muito tempo, em 1903, pelo russo Tsiolkovsii, mas suas idéias foram desprezadas durante muitas décadas. Independentemente, nos Estados Unidos, R. H. Goddard publicou um livro mostrando as possibilidades da propulsão a foguete, incluindo a idéia de disparar um em direção à Lua. Em 1926, lançou o primeiro foguete com combustível líquido, o qual, usando uma mistura de gasolina e de oxigênio líquido, alcançou uma altura de cerca de 70 m. Outro entre os grandes pioneiros foi Oberth, cujas publicações levaram a um grande interesse pelos foguetes na Alemanha. Durante a Segunda Guerra Mundial, o foguete V2 foi aperfeiçoado, podendo atingir uma altitude de cerca de 160 km, tendo sido usado para lançar explosivos sobre Londres em 1944-1945. Depois da guerra, os foguetes V2 foram usados para explorar a atmosfera superior e algumas partes inacessíveis em solo do espectro eletromagnético.

O foguete V2 foi um exemplar que obteve grande sucesso e pode ser considerado, certamente, o verdadeiro antepassado das modernas naves espaciais. Os aperfeiçoamentos foram rápidos e uma grande pesquisa foi realizada com foguetes como o Skylark e o Viking. Todavia, as altitudes que esses foguetes podiam alcançar eram nitidamente limitadas. O problema é que os combustíveis conhecidos, que são usados nos foguetes, só podem pro-

Os grandes foguetes modernos consistem em vários estágios, que disparam cada um por sua vez

duzir energia limitada e, além disso, quanto mais pesado for o foguete, menos acelerado poderá ser pela quantidade de empuxo dado por seus motores. Idealmente, um foguete teria de ser tão leve quanto possível, mas também ser construído muito solidamente para agüentar tensões e esforços tremendos e para poder transportar o peso de seus próprios motores e de seus tanques de combustível, com o resultado de nenhum foguete simples poder alcançar uma velocidade que se aproximasse sequer da velocidade de escape da Terra.

Esse problema foi solucionado por meio do foguete de estágios múltiplos, que consiste em dois ou mais foguetes colocados uns sobre os outros. Quando o foguete inferior, ou primeiro estágio, já gastou todo o seu combustível, separa-se do resto, permitindo que o segundo estágio e subseqüentes disparem em sucessão, cada um deles podendo contar com o benefício da velocidade do estágio anterior. Dessa forma, grande quantidade de peso inútil é expulsa e o estágio final poderá alcançar a velocidade desejada com sua carga útil de equipamento científico. O primeiro desses foguetes foi disparado em 1949, consistindo num pequeno foguete, o WAC Corporal, colocado no topo de um V2. A altitude final alcançada foi de cerca de 400 km.

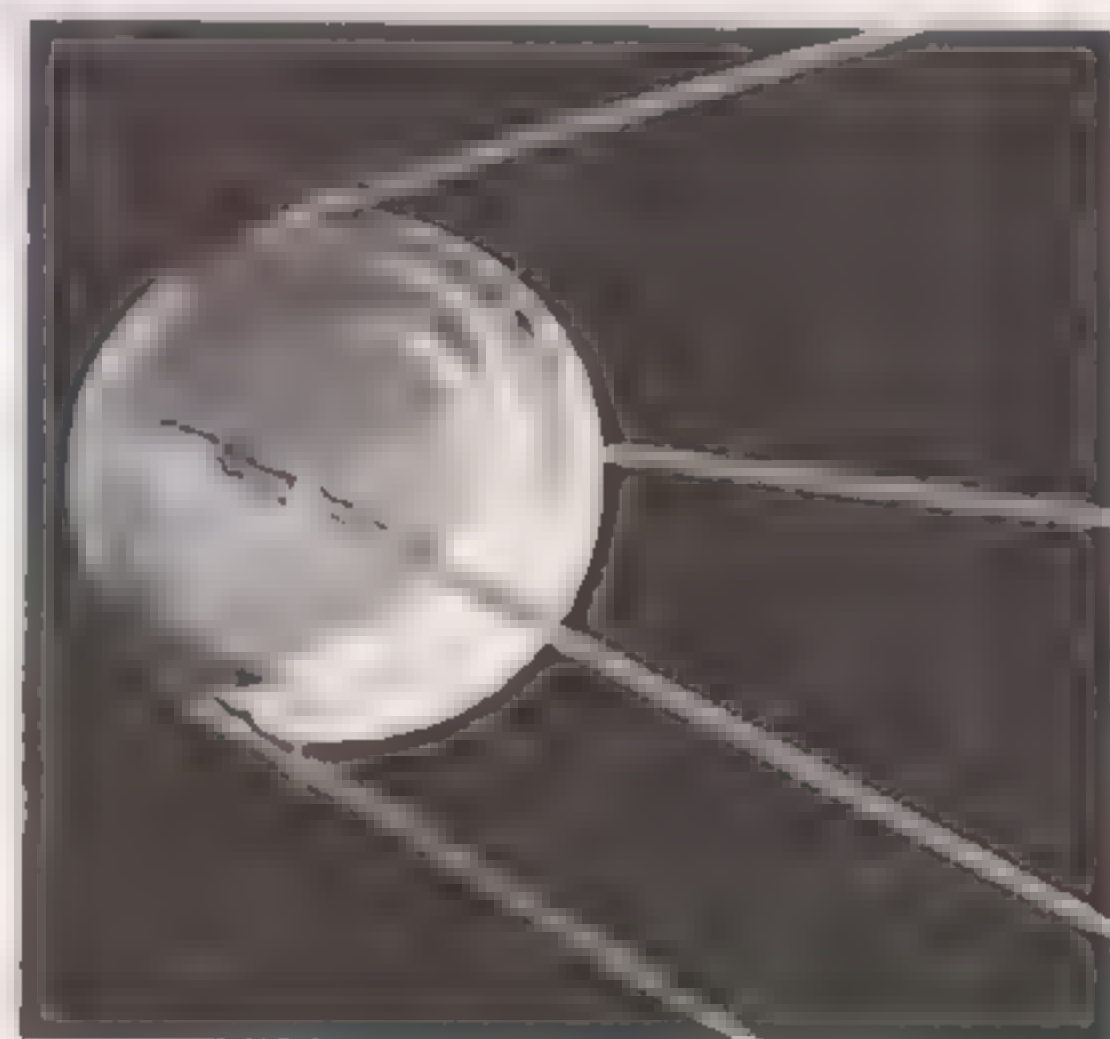
Muita pesquisa tem sido realizada com foguetes de todos os tamanhos, incluindo os pequenos e engenhosos "rockoons" (pequenos foguetes disparados de balões de grande altitude), no que se refere às propriedades da atmosfera superior. Assim, por exemplo, devemos ao foguete todo o conhecimento que temos de como a temperatura varia segundo a altitude. A ionosfera (a região da atmosfera que reflete as ondas de rádio) tem sido estudada, juntamente com os raios ultravioleta, os raios X e outros comprimentos de onda do Sol e do espaço exterior. Todavia, a grande dificuldade existente nessas experiências é a duração limitada de tempo – uma questão de apenas alguns minutos – em que o foguete permanece a uma altitude adequada. Em muitos casos, também, os instrumentos e os registros são danificados com o impacto no seu regresso à Terra.

Satélites

As observações prolongadas acima da atmosfera só podem ser realizadas por meio de satélites artificiais, isto é, equipamentos colocados em órbita em volta da Terra, cujos primeiros planos foram anunciados pelos Estados Unidos em 1955. Conforme já dissemos antes, a Lua só é impedida de cair na Terra pelo fato de se mover a uma velocidade suficiente para compensar a força da atração. A velocidade crítica, paralela à superfície da Terra, que

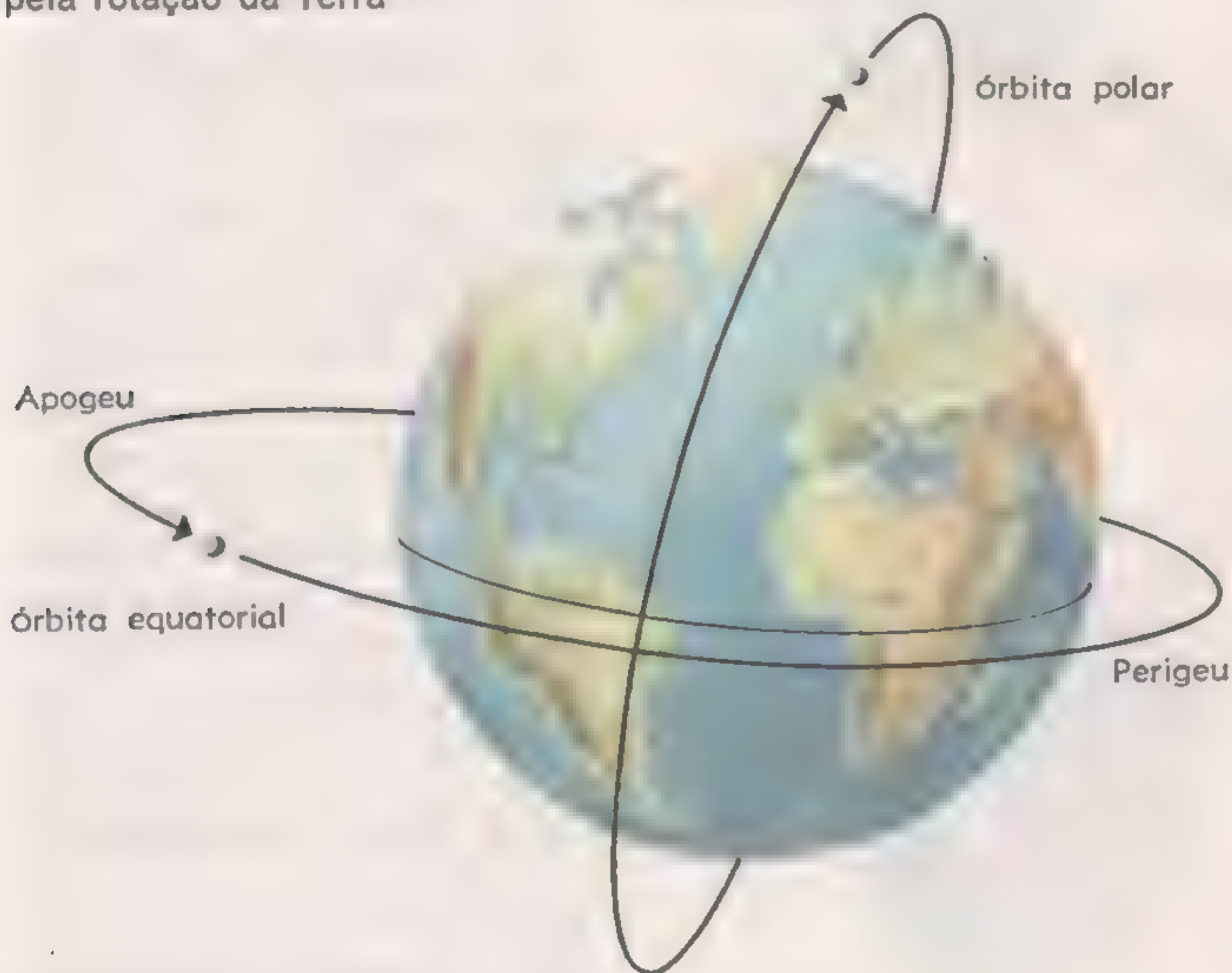
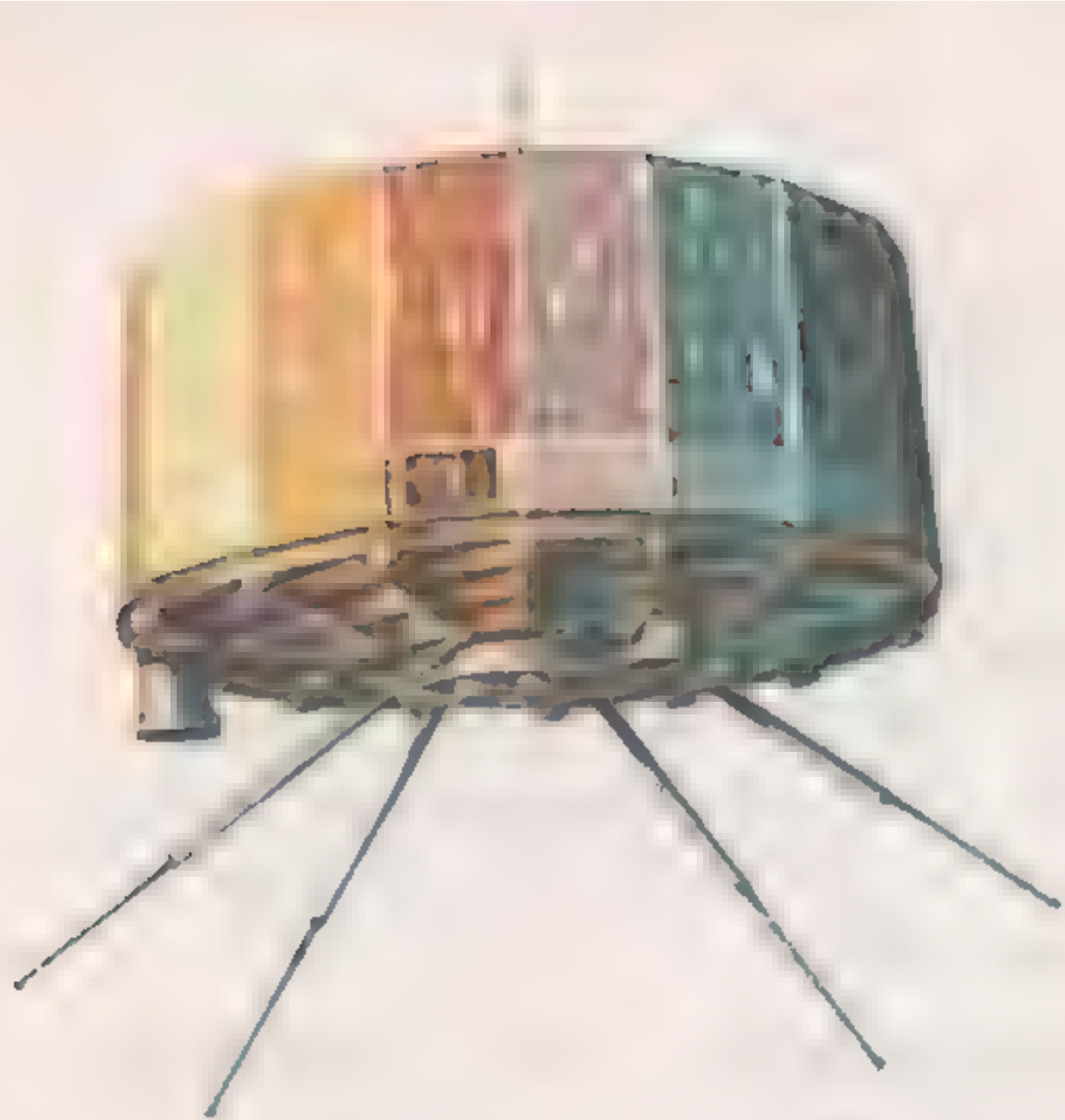
um satélite deve alcançar para permanecer em órbita em volta da Terra é chamada velocidade orbital, sendo aproximadamente de 8 km/s, um pouco menos de 30.000 km/h para uma órbita teórica ao nível do mar. A velocidade orbital diminui quanto mais afastado da Terra se estiver: à distância da Lua, um satélite teria de se mover a apenas pouco mais de 3.000 km/h, velocidade com que a Lua se move. Uma vez em órbita acima da atmosfera, um satélite continuará na mesma órbita, simplesmente por nada haver para detê-lo.

Os americanos haviam planejado lançar seu primeiro satélite como parte do programa para o Ano Geofísico Internacional de 1957-58, mas, com grande surpresa de todo o mundo, o primeiro satélite artificial foi lançado, na realidade, pela União Soviética, em 4 de outubro de 1957. Este foi o Sputnik 1, uma esfera com cerca de 58 cm de diâmetro, pesando perto de 90 kg e descrevendo uma

(Embaixo) Echo 1, lançado em 1960, um balão de 30 m, com superfície metalizada, inflado em órbita. Este foi o primeiro satélite experimental de comunicações

(À direita) Sputnik, o primeiro satélite artificial

órbita elíptica com um apogeu de cerca de 950 km e um perigeu de cerca de 228 km. O período orbital era de 96 minutos. Na distância do perigeu ainda havia apreciável quantidade de atmosfera e isto produziu atrito no satélite, de maneira que a órbita foi mudando lentamente até que, por fim, em 4 de janeiro de 1958, o Sputnik 1 caiu nas camadas mais densas da atmosfera e foi queimado pelo atrito, tal como um meteoro. O Sputnik 1 foi seguido pelo Sputnik 2 e, em 31 de janeiro de 1958, os americanos colocaram em órbita o minúsculo Explorer 1, de cerca de 15 kg, o qual, entretanto, estava repleto de instrumentos.

Uma das mais espetaculares descobertas feitas pelos Explorers 1 e 3, foi a dos cinturões até então insuspeitados de cargas elétricas cercando a Terra, a uma altitude acima de 1.000 km. Os cinturões foram chamados de Van Allen. Os Explorers e os Pioneers

É mais fácil lançar um satélite numa órbita equatorial, já que, dessa forma, o foguete de lançamento será auxiliado pela rotação da Terra

O apogeu é o ponto da órbita mais distante da Terra e o perigeu, o mais próximo

Satélite americano *Tiros*

Satélite britânico *Ariel 3*

Satélite soviético *Lunik 3*

subseqüentes permitiram que os cientistas traçassem mapas desses cinturões, mostrando que eles se estendiam até uma altitude de cerca de 40.000 km.

Entre os primeiros satélites, o mais conhecido foi talvez o Echo 1, aquele que foi mais extensamente observado, lançado em 1960. Ele era um balão gigante, inflado no espaço até um diâmetro de aproximadamente 30 m e coberto por material refletor. Foi usado como satélite passivo de comunicações; isto é, as ondas de rádio eram enviadas de volta à Terra da sua superfície. Era facilmente visível a olho nu, assemelhando-se a uma estrela brilhante e movendo-se bastante rapidamente no céu. Continuou em órbita durante vários anos.

O estágio seguinte foi o dos satélites ativos de comunicações, contendo equipamento de retransmissão. O Telstar americano transmitiu com sucesso parte dos Jogos Olímpicos de 1964, em Tóquio, mas, devido à sua velocidade orbital, parecia atravessar o céu muito rapidamente e só podia realizar transmissões curtas de cada vez. Um satélite que seja colocado em órbita a uma altitude de cerca de 35.000 km, orbitará a Terra em exatamente 1 dia e, assim, parecerá estacionário no céu, permitindo a comunicação durante as vinte e quatro horas do dia. A série de satélites Syncom fez isto e a corporação americana COMSAT, que opera tais satélites comercialmente, transmitiu a maior parte dos Jogos Olímpicos de 1968, no México.

Nuvens sobre Burma, vistas
de um satélite meteorológico

Os satélites meteorológicos, como os das séries Tiros e Nimbus, têm provado serem de grande valor no que se refere a traçar a distribuição das nuvens sobre a Terra e a advertir sobre a chegada de furacões, etc.

Vários satélites ingleses e franceses foram lançados por meio de foguetes americanos, e a França, o Japão e a China já desenvolveram seus próprios foguetes de lançamento.

Sondas para a Lua e além

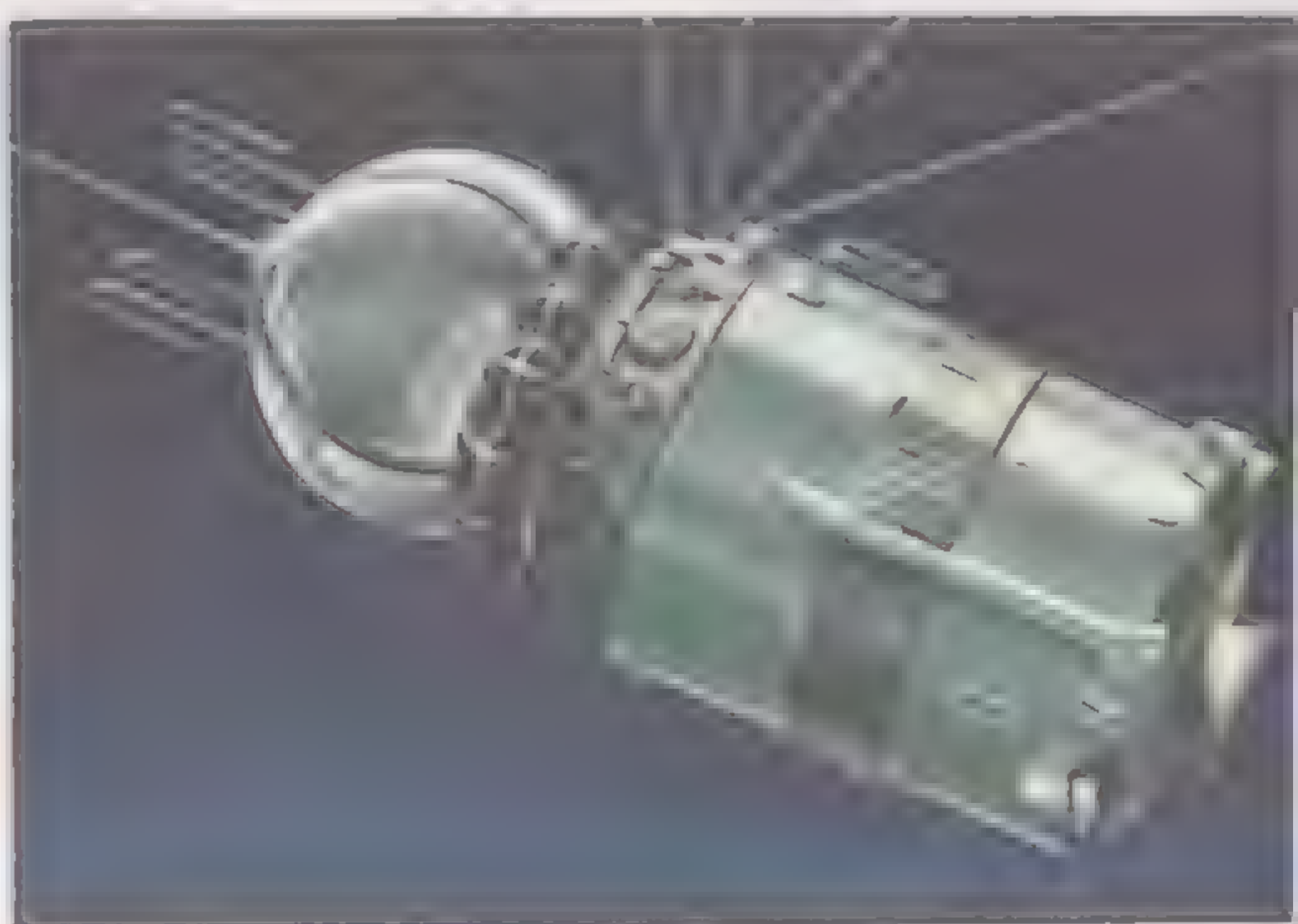
Numa fase inicial, foram feitas tentativas para enviar sondas espaciais para a Lua, e a primeira a obter sucesso foi a Lunik 1, soviética, que passou a cerca de 6.500 km da Lua, em janeiro de 1959. A Lunik 2 tocou a Lua em setembro daquele ano e, em outubro, a Lunik 3 passou pelo outro lado da Lua, enviando fotografias do lado que até então jamais havia sido visto.

Exploração espacial tripulada

Aquilo que mais desperta o interesse popular na exploração dos planetas é, por certo, a perspectiva das viagens tripuladas através do espaço. A primeira criatura viva a ser enviada para o espaço num satélite foi a cadela Laika, no Sputnik 2, que foi lançado em novembro de 1957. Antes de um vôo tripulado ser tentado, era essencial descobrir que efeitos as viagens no espaço poderiam ter sobre os seres vivos. Seria o nível de radiação, por exemplo, prejudicial ao homem? Quando um satélite se move numa órbita em volta da Terra, seus ocupantes experimentam falta de peso, já que a atração da gravidade da Terra é compensada pelo movimento do satélite. Que efeito poderia isto ter? Foi por razões como estas que Laika e, mais tarde, outros animais, foram colocados em órbita. Infelizmente, Laika jamais regressou à Terra.

Nos anos seguintes, vários veículos espaciais não tripulados foram colocados em órbita e, depois, trazidos de volta à Terra. Finalmente, em 12 de abril de 1961, o major russo Yuri Gagarin tornou-se o primeiro homem a conhecer o espaço, o primeiro astronauta, numa nave espacial de 4,75 t, o Vostok 1. Realizou uma única órbita da Terra, a altitudes indo de cerca de 180 a 330 km num período de 1 hora e 48 minutos, regressando são e salvo a um ponto predeterminado, na União Soviética. Com este vôo, Gagarin provou que o homem podia, definitivamente, resistir às acelerações, à falta

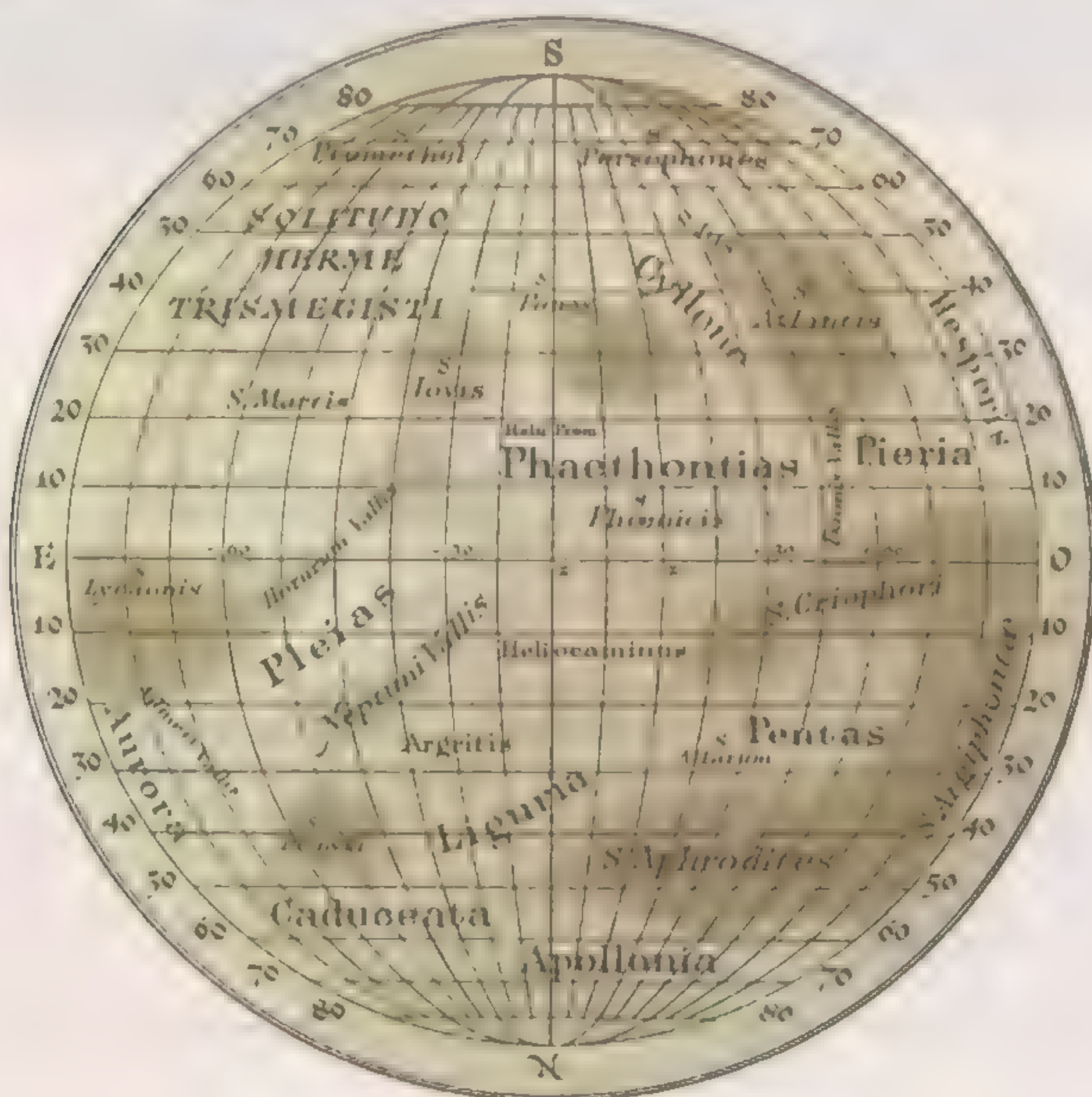
(À esquerda) Yuri Gagarin, o primeiro homem no espaço

(À direita) Nave espacial Vostok

Passeio no espaço por Edward White, durante o vôo da Gemini 4

de peso, à radiação e a todos os outros perigos aventados, pelo menos durante curtos períodos, tendo sido aplaudido em todo o mundo. Morreu tragicamente num acidente aéreo em 1968. Em 5 de maio de 1961, o Comandante Alan Shepard veio a ser o primeiro americano no espaço, com um vôo de 15 minutos, até uma altitude de cerca de 200 km.

A viagem seguinte da série Vostok foi mais ambiciosa. O Major Titov, no Vostok 2, realizou dezessete órbitas e meia em 8 e 9 de agosto de 1961, regressando sem quaisquer efeitos nocivos. O programa tripulado norte-americano foi realizado sob o título de Projeto Mercury, e seu primeiro vôo orbital foi efetuado em fevereiro de 1962 pelo Coronel John Glenn, que, na sua nave Friendship 7, realizou três órbitas.

Agora, apenas alguns anos depois, as viagens orbitais tripuladas já são quase uma coisa comum. O homem já desceu na Lua e está pretendendo viajar até Marte.

Mercúrio e Vênus no céu, ao entardecer. Mercúrio mal se vê, branco, perto do horizonte. Vênus está bem acima do horizonte, brilhante e prateado

PLANETAS INTERIORES

Os dois planetas interiores são Mercúrio e Vênus [illegible] Como ambos estão mais perto do Sol do que a Terra, eles parecem [illegible] do Sol no céu [illegible], geralmente, [illegible] Mercúrio é [illegible] isto que Copérnico [illegible] Vênus, por outro lado, é [illegible] quando [illegible] no céu. [illegible] é muito mais brilhante do que qualquer [illegible] com as exceções do Sol e da Lua, podendo [illegible] lançar uma sombra. Vejamos o que [illegible] desta [illegible] telescópios e sondas espaciais.

Mercúrio

Mercúrio, com diâmetro de cerca de 4 780 km, é o menor planeta do sistema solar (embora haja a possibilidade de Plutão ser menor). É também aquele que se encontra mais perto do Sol, movendo-se a uma distância média de cerca de 58 milhões de quilômetros, com período orbital de 88 dias. Na realidade, a órbita de Mercúrio é altamente excêntrica, de modo que o planeta se aproxima a cerca de 5 milhões de quilômetros no periélio e se afasta até uma distância de cerca de 70 milhões de quilômetros, no afélio. Devido a esta excentricidade, a distância angular a que o planeta se encontra do Sol, na sua elongação máxima, pode variar de 18 a 27 graus e, assim, nem todos os aparecimentos de Mercúrio são igualmente favoráveis.

Os primeiros observadores encontraram grande dificuldade em distinguir qualquer pormenor em Mercúrio em razão do seu pequeno tamanho e do fato de, quando se encontrava visível no céu noturno, estar perto do horizonte e brilhar, assim, através de uma grande camada de nossa turbulenta atmosfera. Sua fase podia ser distinguida, mas isso era quase tudo o que se podia ver do planeta. Schroter, trabalhando no final do século XVIII e início do XIX, tentou traçar um mapa do planeta, sem grande sucesso, e o primeiro mapa razoável dos pormenores de sua superfície foi traçado, décadas mais tarde, pelo italiano Schiaparelli. E. M. Antoniadi, trabalhando na França, produziu um mapa em 1933 como resultado de

Mapa de Mercúrio, baseado principalmente
no de E. M. Antoniadi *(Embaixo, à esquerda)*

Uma concepção artística
da superfície de Mercúrio

seu trabalho com um refrator de 82 cm. Seu mapa ainda é o melhor que existe, embora esteja longe de ser perfeito.

De observações das estruturas da superfície do planeta, das quais ele traçara um mapa, Schiaparelli concluiu que Mercúrio mantinha a mesma face sempre voltada para o Sol (da mesma forma como sucede com a Lua em relação à Terra) e, assim, o período de rotação do planeta seria igual ao do seu "ano", isto é, 88 dias. Esta conclusão foi confirmada pelos poucos observadores que se preocuparam em estudar o planeta nos anos seguintes. Com seu pequeno tamanho, Mercúrio foi incapaz de conservar qualquer atmosfera apreciável. Isto se deve ao fato de as moléculas de gás, compondo qualquer atmosfera que Mercúrio possa ter possuído, se terem movido, com certeza, a velocidades maiores do que a velocidade de escape do planeta e assim terem escapado completamente. Por isso, não pode haver correntes de ar quente viajando do lado iluminado pelo Sol para o lado escuro e, desse modo, o hemisfério do planeta voltado para o Sol deve atingir

temperaturas de 400ºC, enquanto o lado escuro, ao contrário, terá temperaturas bem abaixo de -250ºC.

O período de rotação de 88 dias foi aceito sem discussão durante cerca de cem anos, apesar do fato de, no início do nosso século, certas medições por termopar das radiações infravermelhas do lado escuro de Mercúrio terem indicado uma temperatura muito mais elevada do que seria de se esperar se o lado escuro jamais tivesse visto o Sol. Os resultados foram considerados pouco dignos de confiança. Na última década, foram feitas estimativas de temperaturas ainda mais surpreendentes, incluindo valores de -23ºC e até mesmo + 27ºC para o lado escuro, tendo sido usados métodos de rádio e de microondas. Parte dessa discrepância pode ser explicada pelo fato de diferentes métodos de medição indicarem temperaturas em diferentes níveis abaixo da superfície do planeta; contudo, esses resultados indicam que não é possível que Mercúrio mantenha sempre a mesma face voltada para o Sol.

Em 1965, a antena parabólica de rádio, com 300 m de diâmetro, em Arecibo, Porto Rico, foi usada para determinar o período de rotação do planeta por meio de uma técnica de radar. Se um planeta gira sobre seu eixo, então, quando olhamos para ele, um dos lados do planeta estará aproximando-se de nós e o outro afastando-se. Se, então, transmitirmos um sinal de rádio para o planeta, a parte do sinal que é refletida do lado que se aproxima de nós regressará com seu comprimento de onda algo reduzido, enquanto que a parte refletida pelo lado que se afasta regressará com um comprimento de onda um pouco mais longo. Isto é um exemplo do efeito Doppler - e o sinal, no seu regresso, mostrará certo padrão característico pelo qual será possível determinar a rotação. Os resultados das observações de Arecibo mostraram que o período de rotação era de 59 dias, e este valor, desde então, veio a ser confirmado.

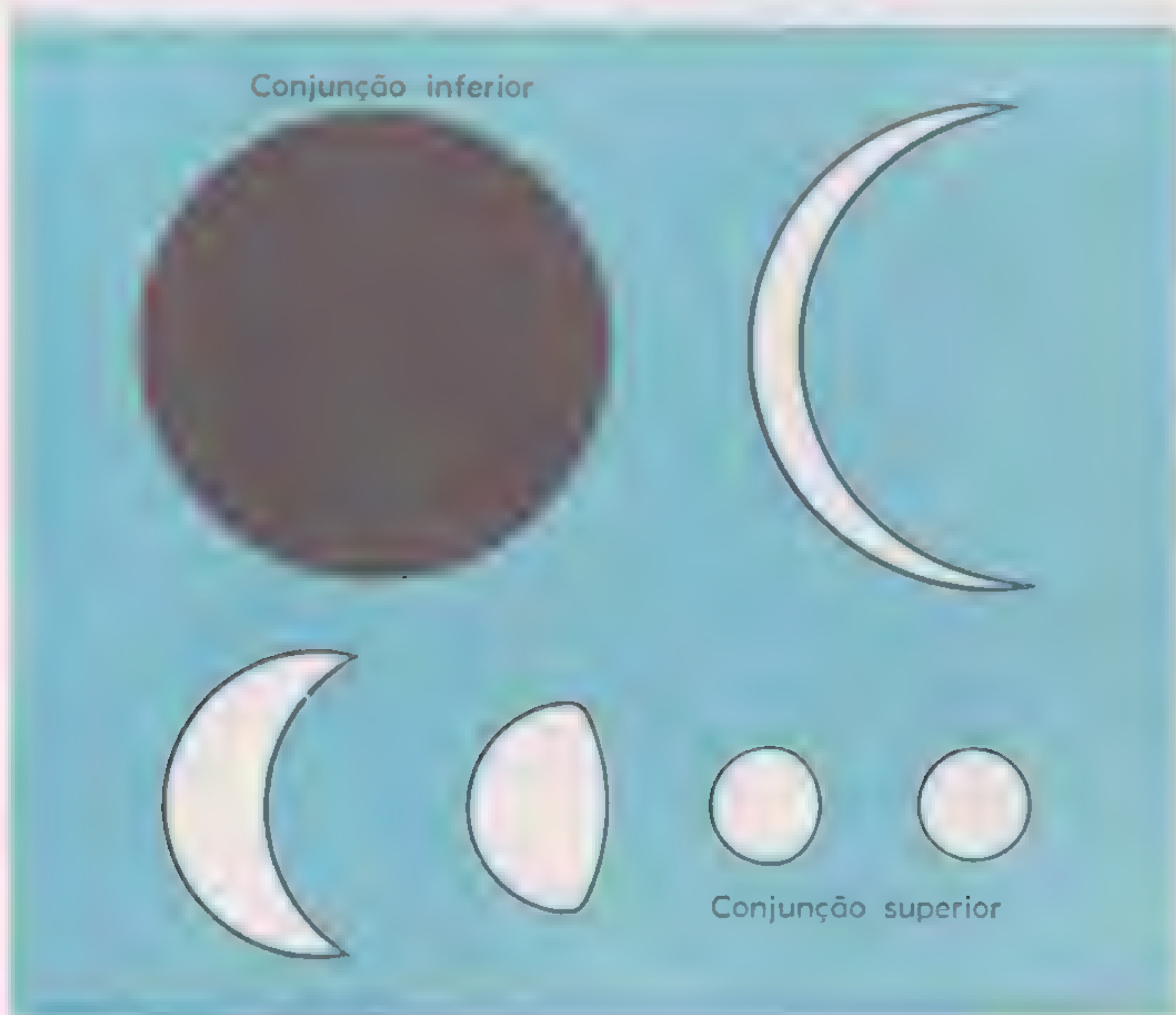
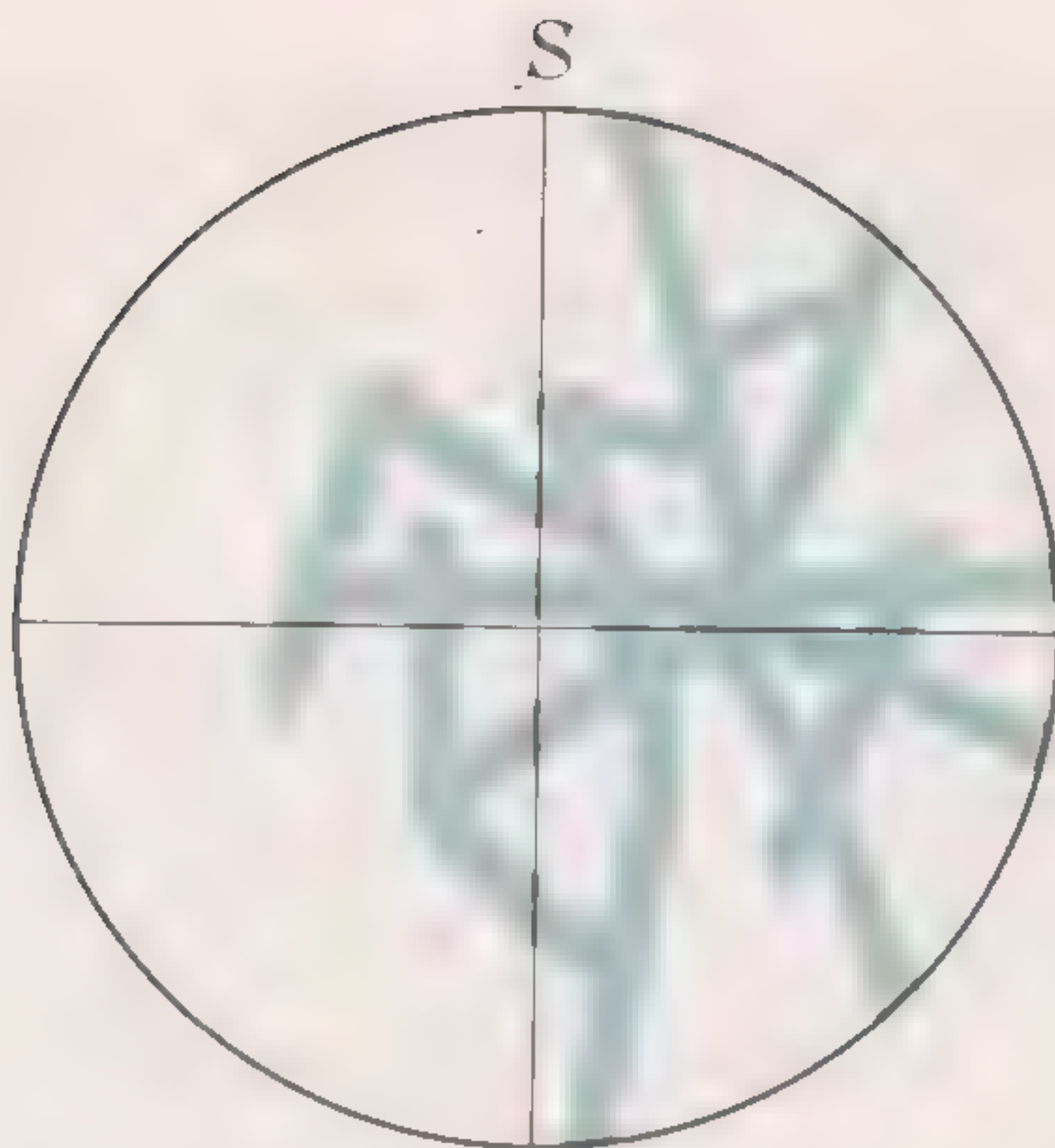
O que há de mais interessante nesse período de rotação de 59 dias é o fato de se tratar quase exatamente de dois terços do período de revolução do planeta em volta do Sol e de metade de seu período sinódico. Assim, acontece que, quando Mercúrio regressa a uma posição no céu na qual foi observado previamente, já girou duas vezes sobre seu eixo e, desse modo, as mesmas estruturas serão visíveis nas mesmas posições uma vez mais. Isto explica por que razão os primeiros observadores foram enganados e levados a pensar que Mercúrio tinha uma rotação capturada.

Em virtude das dificuldades de observar o planeta da Terra, muitos dos problemas referentes a Mercúrio não podiam ser solucionados enquanto uma sonda espacial não passasse perto dele.

Uma nave espacial, o Mariner-X, foi lançada em novembro de 1973, e apontada de maneira que Vênus fosse usado para desviá-la para Mercúrio. Essa nave passou por Mercúrio em princípios de abril de 1974, à distância de 640 km.

fases em cada período sinódico. Começando da "cheia", na conjunção superior, a fase vai diminuindo para metade na sua elongação máxima, tornando-se, depois, cada vez mais estreita, até à conjunção inferior, quando se torna invisível. O processo é, então, repetido ao inverso até à próxima conjunção superior. Por causa do fato de a distância de Vênus variar, seu diâmetro angular varia de 9,5 segundos, na conjunção superior, até 65 segundos, na conjunção inferior. O diâmetro angular na meia fase, ou dicotomia, é de cerca de 25 segundos. Em razão da variação em fase e em distância de Vênus, seu brilho aparente varia de modo complicado e, na realidade, o planeta parece mais brilhante durante a fase crescente em que 30% do lado iluminado são visíveis. O diâmetro angular, então, é de cerca de 30 segundos. Pode parecer surpreendente que o maior brilho ocorra durante a fase crescente, mas ela tem de ser compensada pelo diâmetro aparente decrescente.

As primeiras observações com telescópio mostraram Vênus bas-

Os planetas interiores aparecem no seu maior tamanho, mas também com menos brilho, quando se encontram em conjunção inferior, isto é, quando estão mais perto da Terra. Parecem mais brilhantes quando se encontram na fase crescente

Os "canais" de Lowell em Vênus

tante desapontador. Além de sua fase, quase nada podia ser visto na face do planeta, exceto umas sombras muito vagas e mal definidas. Bianchini, trabalhando no início do século XVIII, afirmou ter visto características bem definidas e chegou a produzir um mapa mostrando mares e continentes, mas o telescópio que ele usou era decididamente rudimentar e não-acromático, e outros observadores, depois dele, mostraram-se incapazes de confirmar essas características. No século XX, algumas observações muito interessantes foram feitas no Arizona por Percival Lowell. Ele registrou filamentos radiais escuros e bem definidos sobre o disco de Vênus, tendo traçado um mapa apresentando essas estruturas, que ele estava convencido serem de sua superfície.

Outros observadores com equipamento melhor não conseguiram distinguir essas características vistas por Lowell, tampouco as indicadas por Bianchini, considerando-se, agora, que todas elas eram totalmente ilusórias. A observação de um disco tão brilhante quanto o de Vênus tende a produzir ilusões ópticas, tais como os filamentos observados por Lowell.

Como já foi bem estabelecido que Vênus está coberto por denso manto de nuvens, que pode ser visto no planeta? Não restam dúvidas de que é possível observar algumas sombras escuras mal definidas. Essas manchas escuras devem significar distribuições de nuvens de algum tipo e podem ser estudadas em maior detalhe por meio de filtros de cor, que apenas permitem a passagem de luz de certos comprimentos de onda. Freqüentemente, perto das cúspides (as pontas ou chifres do crescente), é possível ver-se manchas claras, conhecidas pelo nome de capas das cúspides, às vezes rodeadas por colares escuros. Alguns astrônomos afirmam que essas capas são efeitos ópticos causados por contraste, mas a verdade é que parecem ter uma base de realidade. Têm sido rea-

Sombras vagas são aparentes no manto de nuvens de Vênus. Uma capa de cúspide pode ser vista claramente *(em cima)* na ponta sul (ao alto) do crescente do planeta

lizadas tentativas infrutíferas para as relacionar com a posição dos pólos de Vênus.

Outra das características de Vênus, presumivelmente em razão da atmosfera nebulosa, é a anomalia da fase, ou efeito Schroter, pela qual, nas elongações matinais, Vênus tende a alcançar a dicotomia mais tarde do que deveria, enquanto, nas elongações do entardecer, a dicotomia, geralmente, ocorre cedo. A discrepância é, de modo geral, uma questão de poucos dias, mas, em casos excepcionais, a dicotomia tem um atraso de quase quinze dias. Alguns observadores amadores, contudo, mostraram que, na maioria dos casos, a fase observada é menor do que a fase prevista.

A luz cinzenta de Vênus

Olhando para a Lua crescente, de noite, é possível ver, muitas vezes, o lado escuro fracamente iluminado, um fenômeno chamado frequentemente "a velha Lua nos braços da jovem Lua". Isto é causado pela luz refletida da Terra que incide no lado escuro. No caso de Vênus na fase crescente, também é possível, por vezes, ver um efeito semelhante, conhecido pelo nome de *luz cinzenta*. Sua causa é difícil de imaginar. Como Vênus não tem luas, a luz refletida não pode ser a resposta (a Terra está demasiado distante para poder ter qualquer efeito sobre Vênus). Uma das sugestões dadas é que essa luz cinzenta se devia às luzes de cidades enormes no planeta, mas isto parece altamente improvável. O que pareceu ser uma idéia razoável foi a sugestão de que o efeito se devia a manifestações do tipo das auroras polares na atmosfera superior de Vênus (para mais esclarecimentos sobre as auroras, ver página 72). Isto exigiria que Vênus tivesse um campo magnético como o da Terra, o que parece bastante provável. Todavia, a sonda espacial Mariner 2 revelou que Vênus não possui um campo magnético apreciável e isto foi confirmado, mais tarde, por outros veículos espaciais. Assim, a luz cinzenta permanece um mistério.

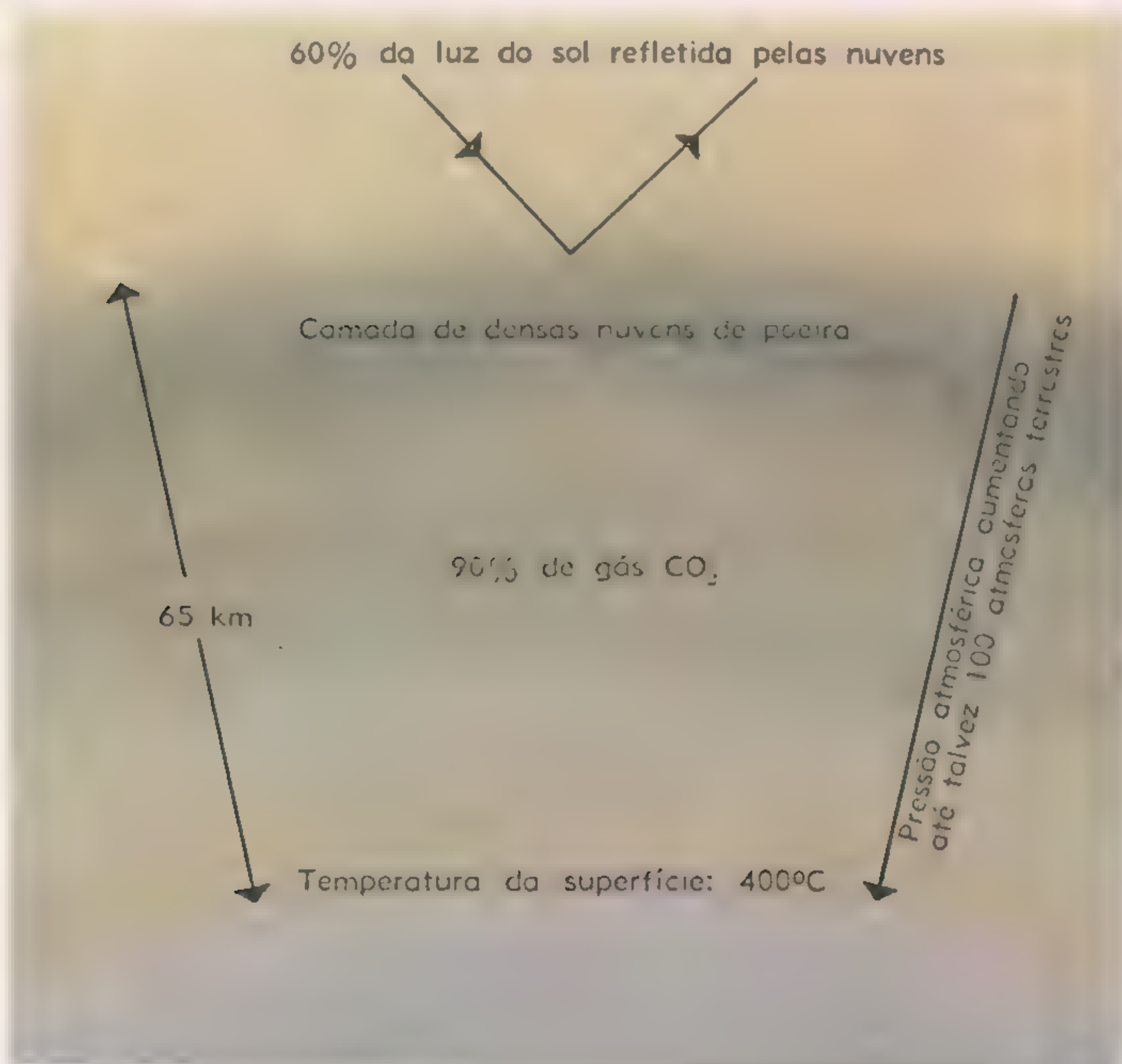
As sondas espaciais parecem indicar que Vênus tem pontos frios e quentes, localizados na sua superfície. As linhas vermelhas são curvas isotérmicas,· linhas ligando pontos de temperatura igual. Esta é uma área quente, perto da cúspide sul de Vênus, causada, talvez, por atividade interna

século, foram tentadas medições da temperatura de Vênus usando um par termoelétrico no refletor de 2,5 m do Monte Wilson, nos Estados Unidos. O par termoelétrico consiste basicamente em dois fios de metais diferentes justapostos; se a junção for aquecida (pela radiação infravermelha de Vênus, neste caso) uma pequena corrente elétrica fluirá, proporcionando, uma indicação da quantidade de calor. Usando este meio, foram calculadas temperaturas de cerca de -35ºC. Isto poderá parecer peculiarmente frio, mas estas temperaturas referem-se, na realidade, à parte superior da camada de nuvens, a uma grande altitude na atmosfera do planeta, e era de se esperar que tais temperaturas fossem muito baixas. A nossa própria atmosfera vai ficando mais fria com o aumento da altitude.

Isto, contudo, ainda não dava qualquer idéia clara sobre a temperatura da superfície do planeta. O Mariner 2, em 1962, revelou que as temperaturas de 130ºC a 330ºC pareciam prevalecer, com algumas manchas anômalas quentes e frias. Estes resultados foram contestados nessa época. Em outubro de 1967, o Mariner 5, americano, e o Vênus 4, soviético, chegaram perto do planeta – o

Mariner continuou, indo além de Vênus, mas o veículo soviético conseguiu pousar com segurança na superfície do planeta, uma proeza verdadeiramente tremenda. Os resultados obtidos pelo Vênus 4 sugeriram temperaturas ainda mais elevadas do que as indicadas pelo Mariner 2 – alguém chegou a sugerir que o Vênus 4 aterrissara num vulcão – embora os dados conseguidos pelo Mariner 5 não concordassem. Uma nova interpretação desses resultados estabeleceu maior acordo entre eles, e Vênus é, por certo, um lugar excessivamente quente. Sua atmosfera contém grandes quantidades de nitrogênio e de gás carbônico, quase sem oxigênio e vapor de água. As nuvens parecem ser compostas, principalmente, de poeira. A atmosfera é extremamente densa, pelo menos de quinze a vinte vezes mais densa do que a nossa, e a natureza da superfície do planeta só pode ser alvo de especulação.

Há muitas coisas que ainda são incertas no que se refere a Vênus, embora os resultados obtidos pelas sondas espaciais tenham revolucionado, certamente, nossas idéias sobre o planeta. As discrepâncias entre os resultados americanos e soviéticos já foram

Corte transversal através
da atmosfera de Vênus

Terra e Lua, como seriam vistas de Vênus. O observador, é claro, teria de estar acima das camadas de nuvens

eliminadas, em grande parte, por meio de análises mais atentas dos dados, mas ainda existe certa confusão. É possível, por exemplo, que a pressão atmosférica na superfície seja até tão elevada quanto cem vezes a da atmosfera da Terra. Tudo o que pode ser dito definitivamente é que a pressão atmosférica é muito elevada e que as temperaturas no planeta são insuportáveis, excedendo 350ºC. Apesar de as nuvens refletirem uma grande porção da radiação que chega a Vênus, boa parte dela que alcança a superfície é absorvida na atmosfera, dada a presença de gás carbônico e a reflexão da parte inferior das nuvens. Até já foi sugerido que, em razão da sua densidade, a atmosfera refrata os raios de luz em volta do planeta e que nele um observador poderia, em teoria, ver uma imagem da parte de trás de sua cabeça.

Antigamente, Vênus era considerado um dos planetas que poderiam comportar vida. O sueco Arrhenius sugeriu, em 1918, que Vênus, por debaixo de suas nuvens, era quente e úmido – um pouco como nossos trópicos levados a um extremo – e abundante em plantas, que cresciam num ritmo tremendo. Na realidade, muitas pessoas tinham a opinião de que Vênus poderia encontrar-se num estado semelhante ao da Terra há 200 milhões de anos. Outra sugestão era que Vênus estava coberto por mares repletos de organismos aquáticos primitivos. Infelizmente, estas atraentes idéias têm de ser rejeitadas: nenhuma forma de vida, tal como a conhecemos, poderia existir nas condições que sabemos, agora, haver no planeta.

Qualquer viajante espacial visitando Vênus teria de pousar no planeta numa nave espacial que pudesse agüentar pressões e temperaturas excessivas. Se saísse da nave, seria esmagado e incine-

rado imediatamente – uma perspectiva não muito atraente! A paisagem vista de cima das nuvens seria espetacular. Como a Terra está completamente iluminada, vista de Vênus no ponto mais próximo entre os dois planetas, a Terra seria vista muito mais brilhante do que Vênus o é por nós, parecendo de um tom azul-esverdeado, com a Lua amarela a seu lado.

No começo do nosso século, foi sugerido que Vênus talvez tivesse vida como existia na Terra há milhões de anos

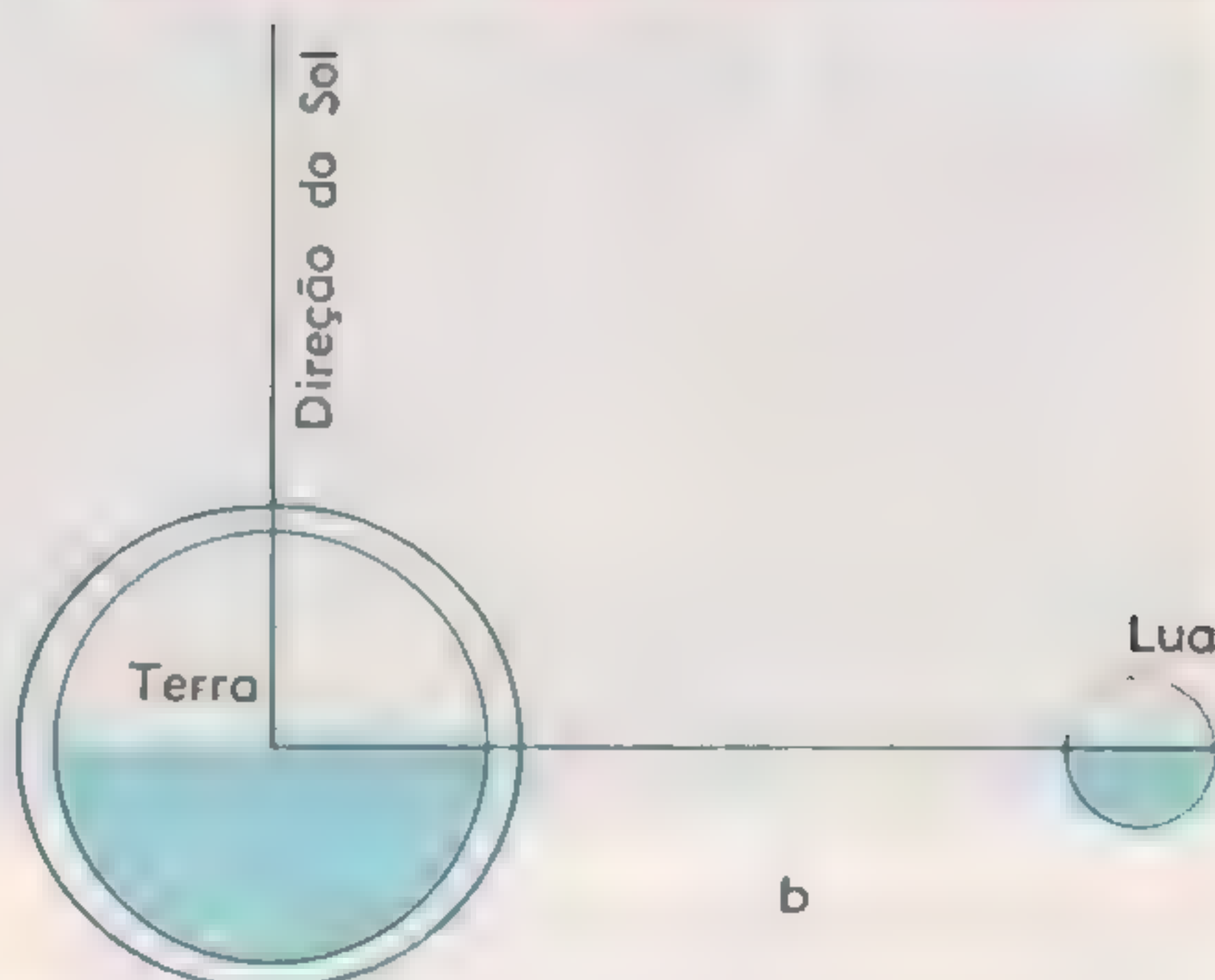
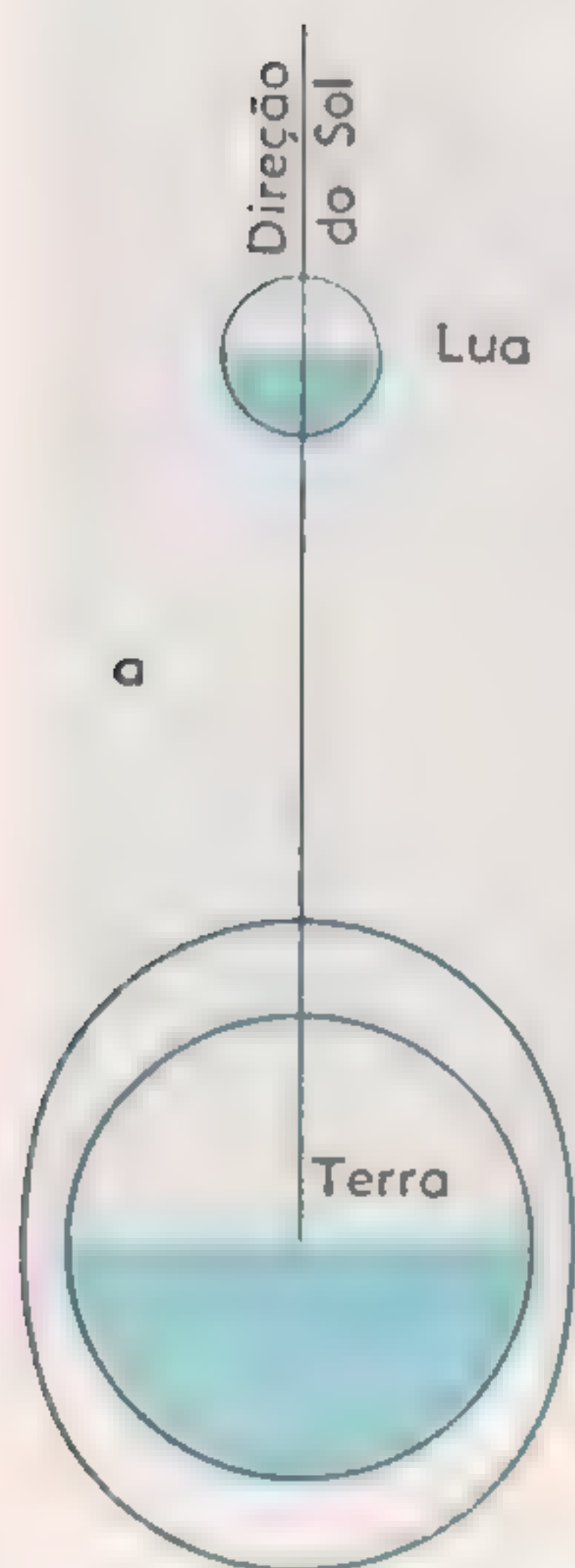
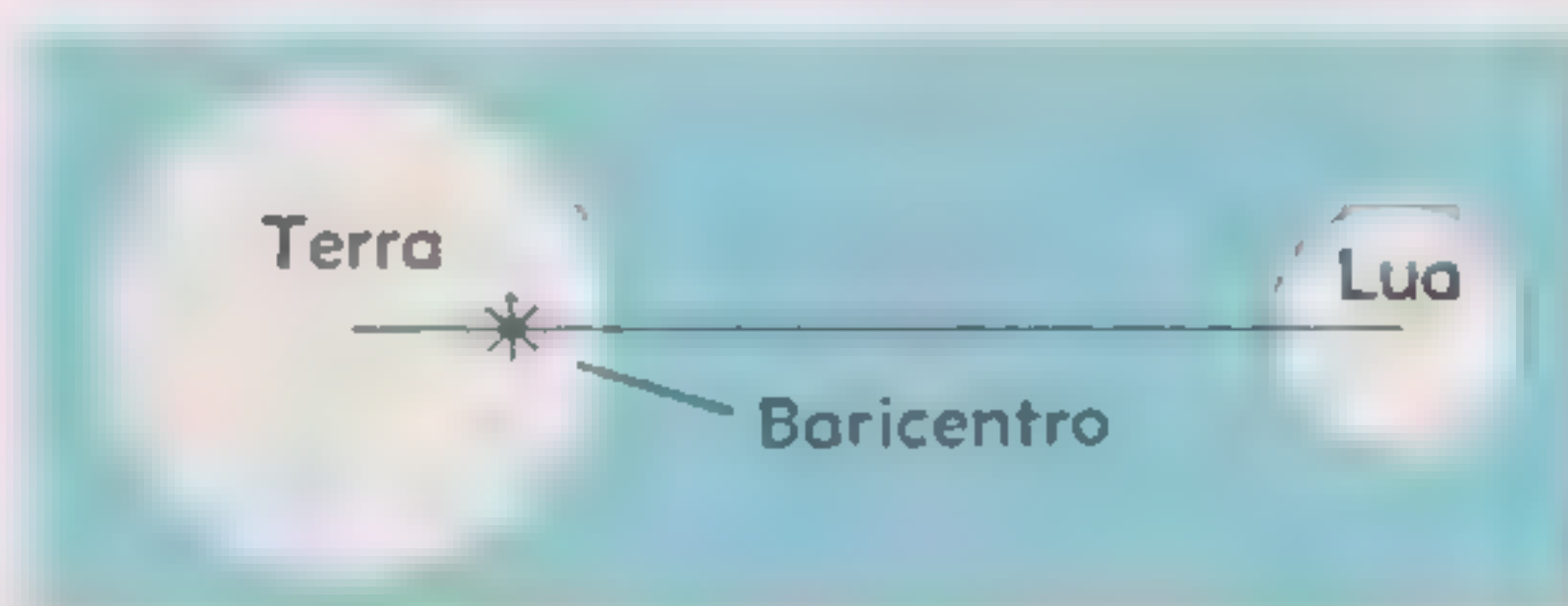
(À direita) Terra e Lua comparadas. O diâmetro da Lua é pouco mais de um quarto do da Terra

(Embaixo) Baricentro é o centro de massa do sistema Terra-Lua, e ambos os corpos giram em volta desse ponto

(Na parte inferior) As marés são maiores quando as atrações do Sol e da Lua se combinam, como em *a*, e menores, quando o Sol e a Lua se encontram em ângulo reto, como em *b*

Terra
Lua
Baricentro

Direção do Sol
Lua
a
Terra

Direção do Sol
Terra
Lua
b

SISTEMA TERRA-LUA

O sistema composto pela Terra e a Lua é considerado por muitos como sendo um planeta duplo em vez de um planeta com um satélite. Apesar de a maioria dos outros planetas terem satélites (ou luas, se se preferir), eles são sempre muito pequenos em comparação com o planeta principal. A Lua, entretanto, tem um diâmetro de cerca de 3.500 quilômetros, em comparação com o de cerca de 12.700 da Terra. O volume da Lua é cerca de 1/50 do da Terra e sua massa é apenas 1/81 da massa da Terra. Todavia, isto ainda é uma fração muito maior da massa do planeta principal do que sucede com qualquer outro satélite do sistema solar.
A Lua gira em volta da Terra a uma distância média de cerca de 382 mil quilômetros num período de 27 dias, 7 horas e 43 minutos, enquanto a Terra gira em volta do Sol num período de 365 dias e 6 horas. Graças a este movimento, o tempo que a Lua leva para completar seu ciclo de fases, de "nova" a "nova", é de 29,5 dias (seu período sinódico): a Lua tem de caminhar mais para ficar de novo em linha com o Sol do que o teria se a Terra fosse estacionária. Não é exatamente verdade dizer que a Lua gira em volta da Terra. Se considerarmos um halteres, este será equilibrado no centro da haste que une os dois pesos – esse ponto sendo chamado o centro de massa. O sistema Terra-Lua pode ser visto como um halteres, com um dos pesos sendo 81 vezes mais pesado do que o outro, de maneira que o centro de massa se encontra perto do peso maior. A Terra e a Lua giram em volta deste ponto, o *baricentro*.

A principal causa das marés na Terra é a atração da Lua, que tende a atrair a água na parte da Terra que está diretamente sob a Lua. Uma "elevação" menor de água também se forma do outro lado, com cada elevação correspondendo a uma maré alta. O Sol tem efeito menor; as grandes marés ocorrem quando o Sol e a Lua atraem na mesma direção e as menores, quando atraem em ângulos retos entre si.

A Terra

A Terra move-se em volta do Sol numa órbita de baixa excentricidade (0,017), a uma distância média de cerca de 150 milhões de quilômetros, girando sobre seu eixo num período (medido em relação às estrelas) de 23 horas e 56 minutos. O eixo da Terra não é perpendicular ao plano de sua órbita. Difere da perpendicular em 23,5 graus. Isto dá origem às estações, com o inverno do norte e o verão do sul ocorrendo quando o pólo norte aponta para o lado oposto do Sol, enquanto o verão do norte e o inverno do sul ocorrem quando o pólo norte aponta para o Sol. O verão do

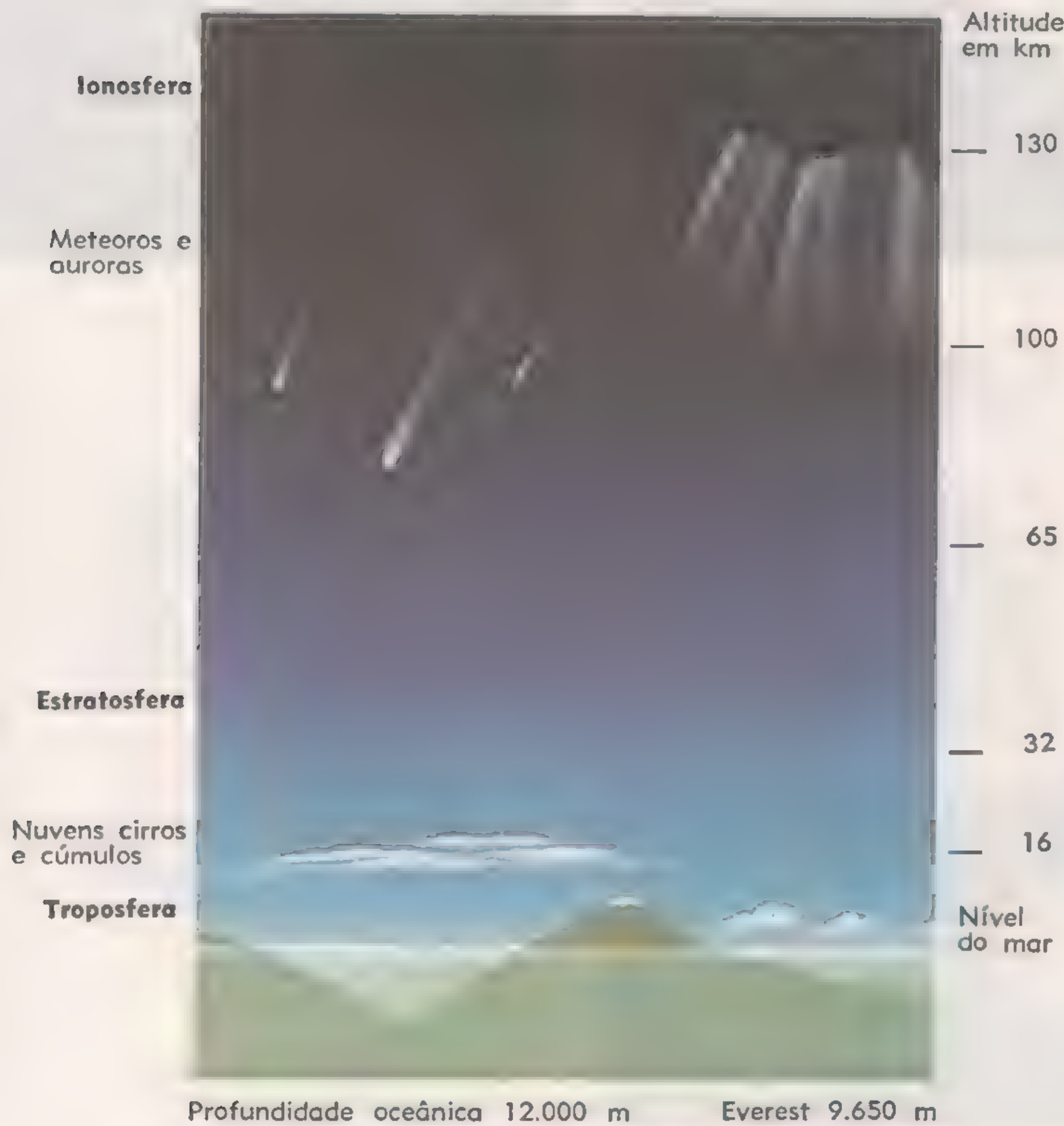
sul ocorre quando a Terra está perto do periélio e movendo-se mais rapidamente, tendendo, assim, a ser mais quente e mais curto do que o do norte.

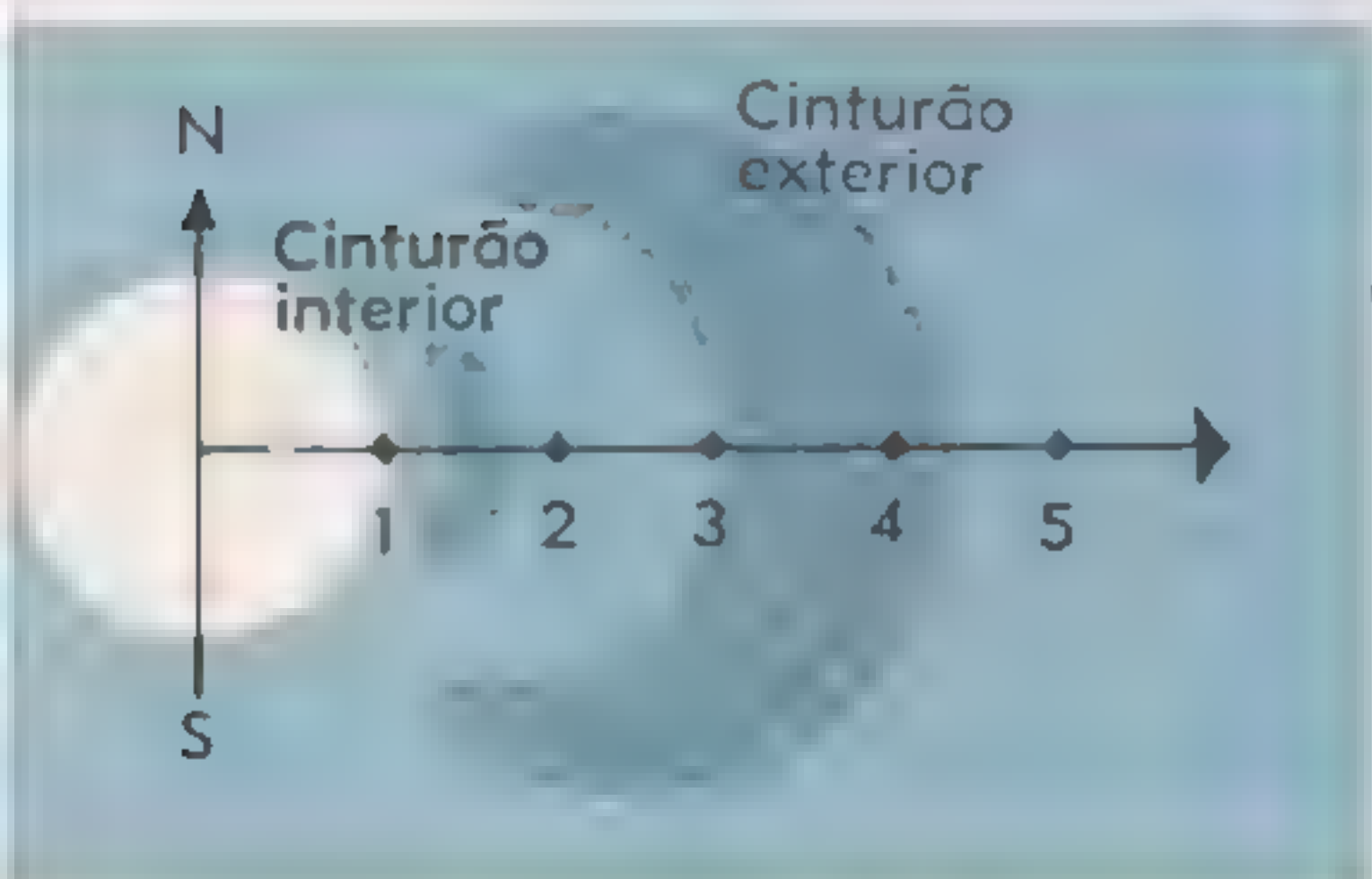
A densidade média da Terra é cerca de 5,5 vezes maior do que a da água. A densidade varia de valores muito elevados (10 a 12) no centro do globo até 2,5 a 3,5 nos rochedos da superfície. A estrutura interna da Terra tem sido investigada pela observação do efeito que a passagem através da Terra tem sobre as ondas de choque provocadas por explosões e tremores de terra. A Terra tem um denso núcleo metálico com um raio de cerca de 3.400 km, em volta do qual há uma camada de rocha pesada com espessura de aproximadamente 2.900 km, com a densidade diminuindo de dentro para fora. Por cima disto, temos a crosta mais leve, que tem menos de 80 km de espessura. A vida depende dos poucos metros de solo que há por cima de tudo isto, dos oceanos e da atmosfera.

A atmosfera é composta, principalmente, por dois gases, nitrogênio (78%) e oxigênio (20%), sendo o oxigênio vital para nossa forma de vida. Outros gases compõem o resto da mistura, com o gás carbônico sendo um dos mais importantes. A atmosfera impede que radiações nocivas alcancem a superfície e o gás carbônico, o vapor de água e as nuvens impedem que todo o calor que alcança a superfície seja refletido de novo para fora. Assim, as noites claras tendem a ser mais frias do que as nubladas. Há vestígios de atmosfera a centenas de quilômetros de altitude, mas a maior parte da massa de ar concentra-se nos primeiros 8 a 16 km.

Corte transversal da Terra

A Terra possui um campo magnético – é isto que faz com que as agulhas das bússolas apontem para norte – o que parece estar relacionado de algum modo com o núcleo metálico do planeta. Todavia, a razão do magnetismo da Terra ainda não é totalmente compreendida, bem como não se sabe ao certo por que razão seu pólo magnético norte se move. O campo magnético da Terra encaminha, para os pólos, cargas elétricas emitidas pelo Sol e são estas cargas que causam as auroras. Estas, geralmente, só são vistas de latitudes muito elevadas, norte ou sul. Aparecem como faixas em movimento, raios e arcos de luz, geralmente de tom esverdeado ou róseo. As auroras causam freqüentemente severa interferência em radiocomunicações em virtude do efeito que as cargas elétricas têm sobre a *ionosfera*, camada da atmosfera a cerca de 120 km de altitude, que reflete ondas de rádio em volta da Terra.

Corte transversal da atmosfera

As manifestações de auroras podem ter várias formas e cores surpreendentes

A maioria das pessoas já viu meteoros ou "estrelas cadentes". São pequenas partículas de matéria que entram na atmosfera a velocidades de até 70 km por segundo e se queimam, pelo atrito, a altitudes de 80 a 160 km. Ocasionalmente, massas maiores, conhecidas pelo nome de *meteoritos*, alcançam a superfície da Terra. Muitas vezes, quebram-se em fragmentos, ainda no ar, com grandes estrondos.

Os cinturões de radiação de Van Allen, interno e externo, cercam a Terra no plano do equador. A escala horizontal é marcada em raios da Terra. A localização dos cinturões foi traçada pelo satélite Explorer 4

A Lua

A origem da Lua é um tanto misteriosa. Uma das opiniões manifestadas é de que a Lua era uma parte da Terra que se separou dela, deixando uma cicatriz na crosta terrestre, agora coberta pelo Oceano Pacífico. Essa idéia, embora numa forma modificada, ainda tem alguns defensores. Outra teoria sugeria que a Lua era um planeta capturado pela atração da Terra e outra, ainda, que a Terra e a Lua foram formadas juntas no espaço. O efeito do poder de atração da Terra sobre a Lua tem sido suficiente para mantê-la com o mesmo lado voltado para nós desde sempre; por outras palavras, a Lua gira sobre seu eixo em tempo igual ao do seu período orbital.

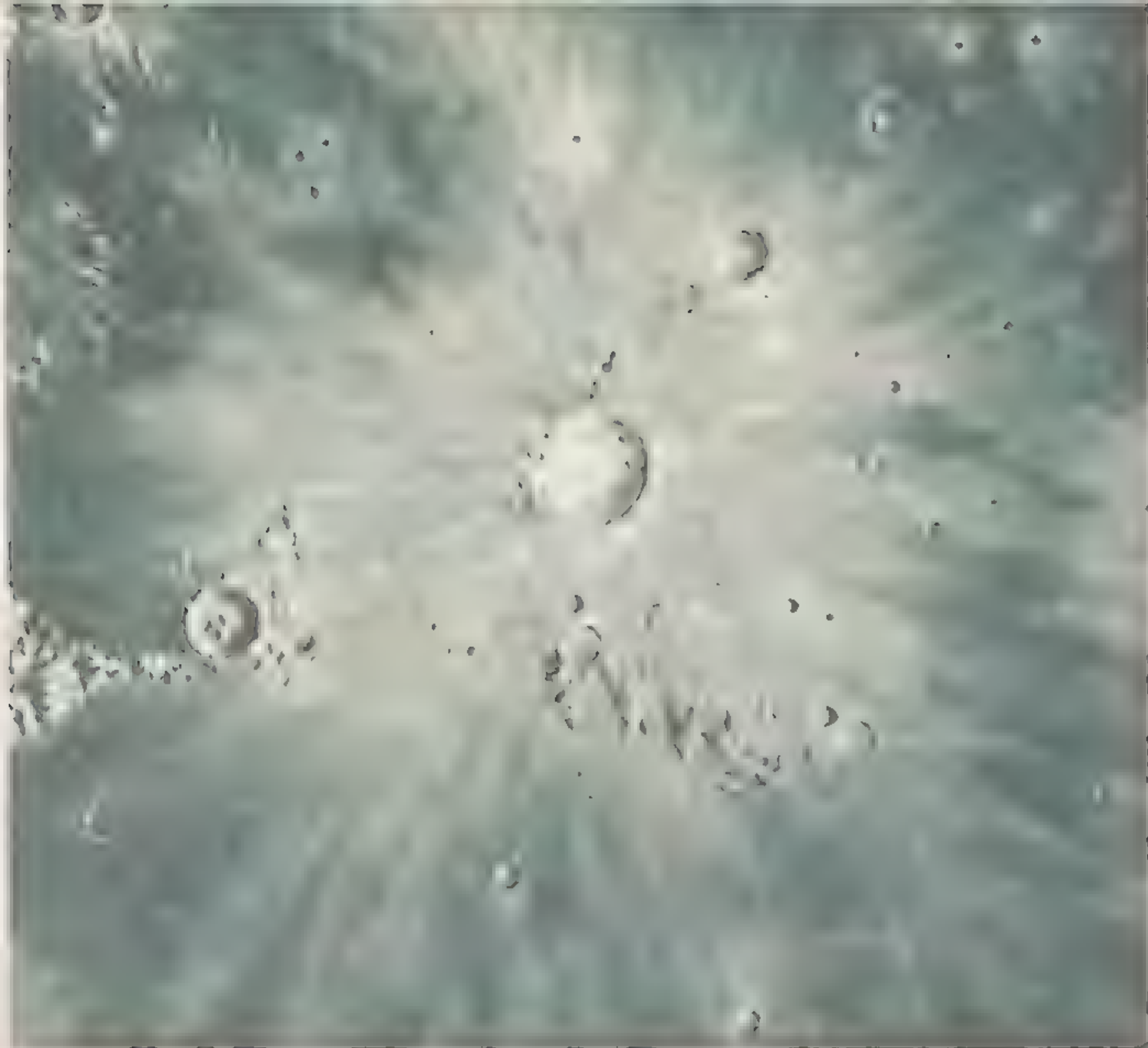
A Lua parece ser quase uma esfera perfeita, sem achatamento nos pólos, embora seja algo saliente no centro da face visível. A densidade média da Lua é menor do que a da Terra, sendo cerca de 3,4 vezes a da água, não sendo provável que a Lua possua um núcleo metálico. As principais estruturas da superfície da Lua podem ser vistas facilmente num telescópio pequeno ou mesmo com um binóculo, e algumas dessas estruturas também podem ser observadas a olho nu. As caracteristicas da face oculta eram des-

A Lua

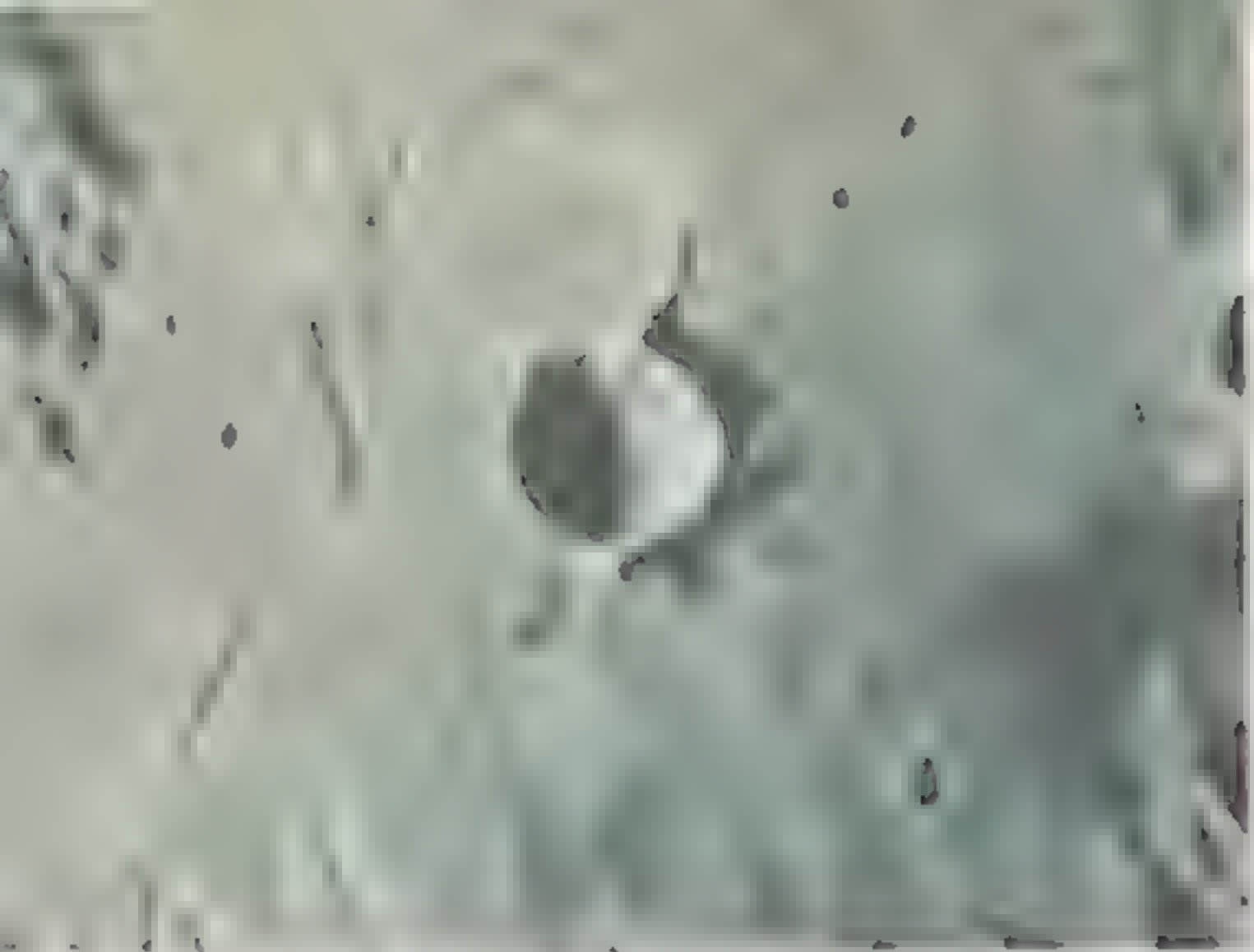
(Em cima) Cratera na região de Alphonsus. *(Na pág. 75)* O *Mare Imbrium* cercado pelos Apeninos lunares *(em cima, à esquerda)* e os Alpes *(embaixo, à esquerda).* A grande cratera, perto do centro, é a Arquimedes

conhecidas até as sondas espaciais terem viajado até o outro lado da Lua. Como a Lua se move mais rapidamente no perigeu do que no apogeu, é possível ver um pouco mais do que metade da sua superfície, uma vez ou outra.

As principais estruturas da Lua foram vistas pela primeira vez em 1609 por Galileu. Basicamente, se enquadram em três categorias: planícies escuras, crateras com forma de anéis e cordilheiras. Os primeiros observadores por telescópio pensaram que essas planícies escuras eram mares e deram-lhes seus nomes segundo essa concepção. Atualmente, já sabemos que a Lua não tem água na sua superfície, mas os nomes foram conservados. As crateras receberam nomes em honra de homens famosos, nem todos astrônomos, embora certos nomes familiares, como Ptolomeu e Newton, se encontrem entre eles. As crateras vão, em diâmetro, desde as gigantescas, como a Bailly (288 km) e a Clavius (240 km) até às do menor tamanho que podemos distinguir. Apesar de as crateras parecerem profundas quando na sombra, seus contornos são, na rea-

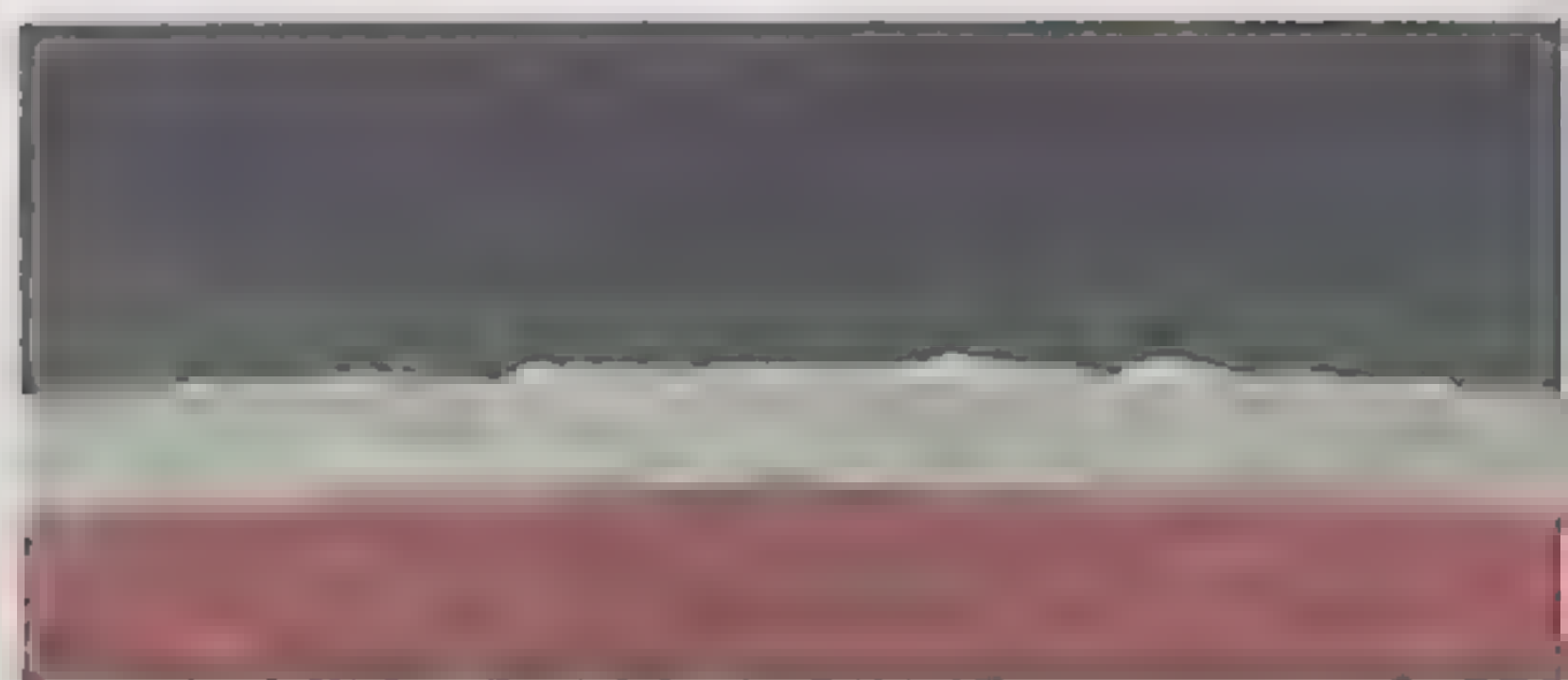
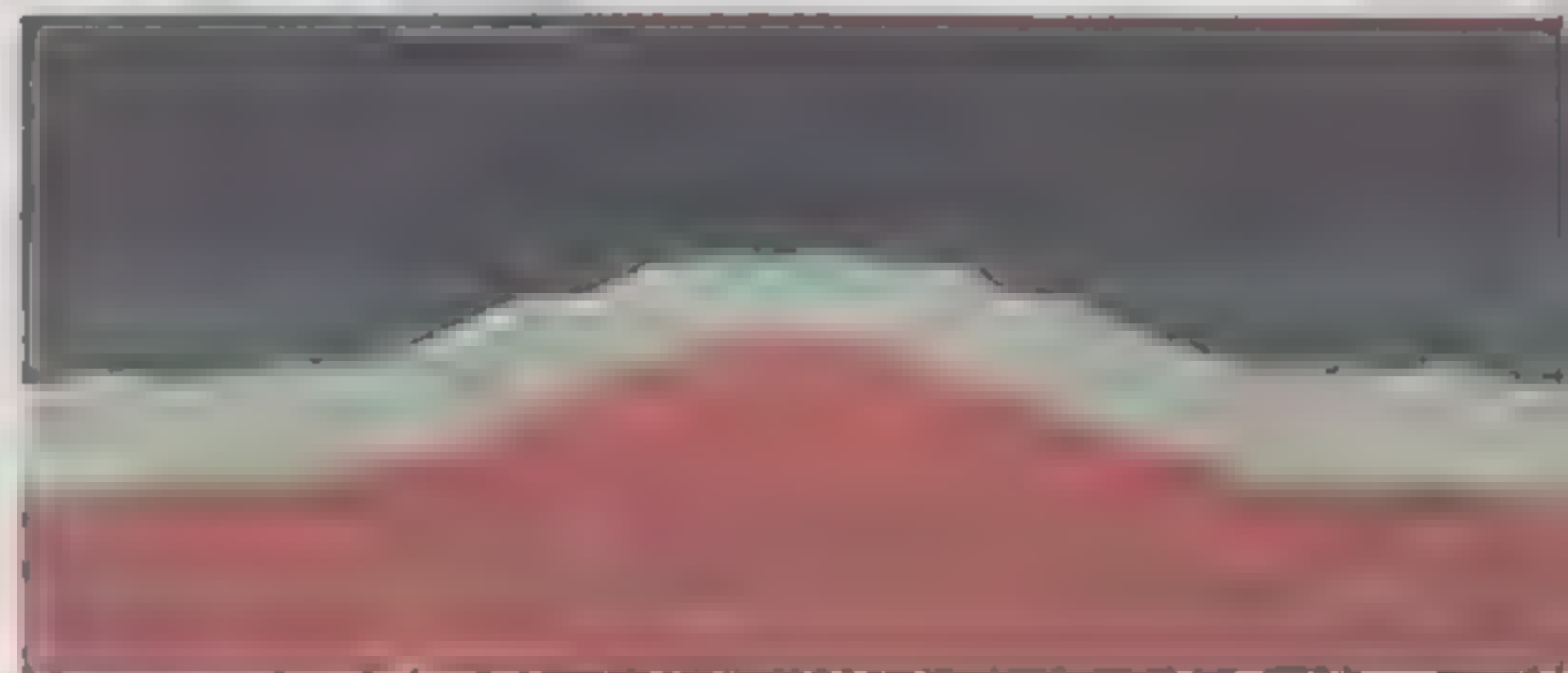
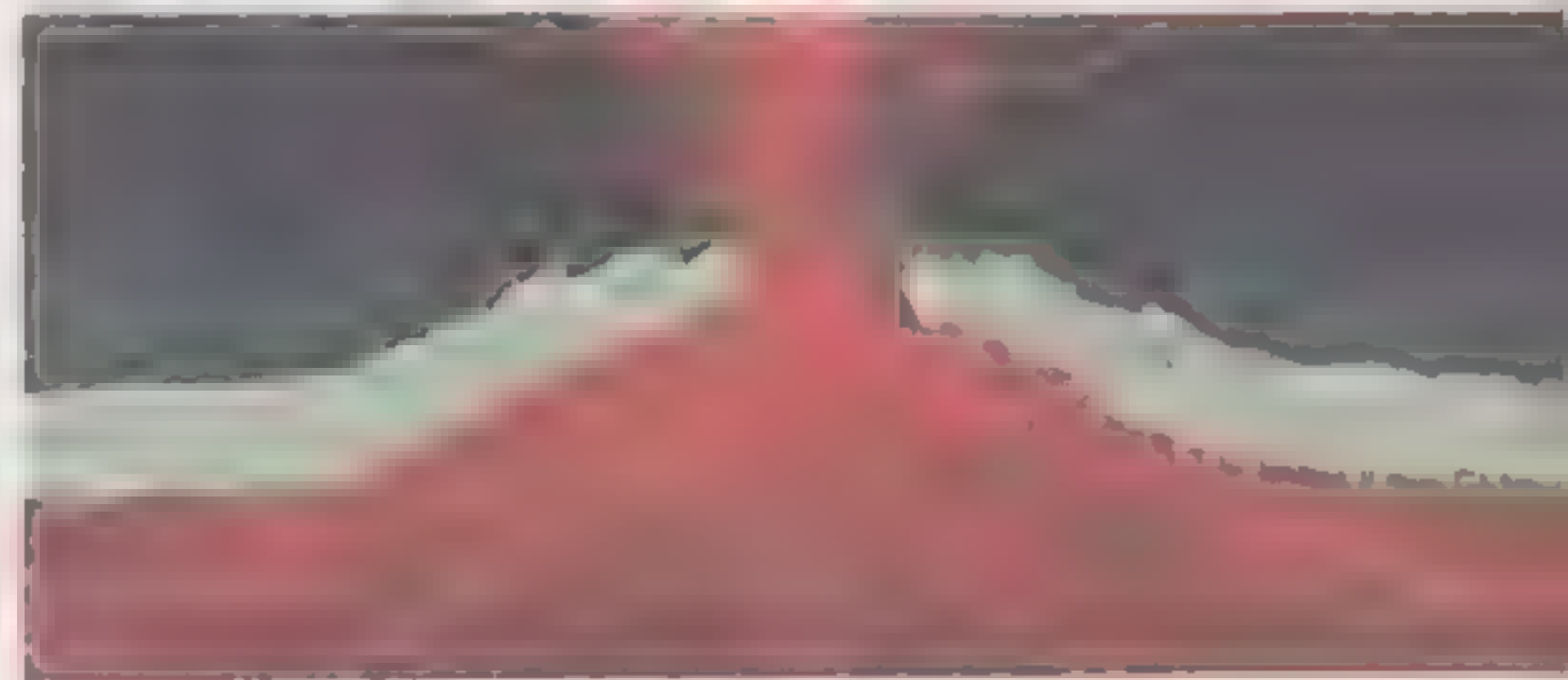
lidade, bastante rasos e sua aparência é mais semelhante a pires do que a xícaras. As principais cordilheiras são espetaculares: os Apeninos lunares têm uma extensão de cerca de 650 km ao longo do lado sul da sombria planície conhecida pelo nome de *Mare Imbrium* (Mar das Chuvas) e alcançam altitudes de 6.000 m. As Montanhas Doerfel, perto do pólo sul lunar, atingem cerca de 8.000 m. Os picos solitários são poucos, embora haja os excelentes exemplos de Píton e de Pico, que se erguem num esplendor solitário no meio do *Mare Imbrium*. As planícies, de modo geral aproximadamente circulares, vão desde o bem definido *Mare Crisium* (cerca de 320 km de diâmetro) até o *Oceanus Procellarium*, que ocupa uma grande parte do setor oriental do disco.

Cadeias de crateras em volta da cratera Copernicus.
Raios brilhantes parecem sair de sua área central

Há muitas outras estruturas menores, mas também dignas de nota. Dessas, a mais óbvia talvez seja a proporcionada pelos raios brilhantes que parecem emanar de algumas crateras, tal como a imponente cratera *Copernicus*, de cerca de 90 km. Alguns dos raios da cratera *Tycho* viajam virtualmente em redor de toda a extensão da Lua. Presumivelmente, esses raios são o resultado de alguma espécie de matéria expulsa das crateras, mas a sua natureza permanece um mistério. A superfície lunar está repleta de cadeias de pequenas crateras e até mesmo as grandes crateras formam, por vezes, cadeias curtas (Ptolomeu, Alphonsus e Arzachel, perto do centro do disco, são um exemplo disto). Existem muitos vales coleantes, bem como linhas de fraturas, escarpas, cristas e outras formações "geológicas". Um exemplo excelente de uma fratura lunar é o paredão reto com cerca de 97 km de comprimento no *Mare Nubium*. Também de grande interesse são as saliências baixas ou domos lunares, que alcançam, em tamanho, dezenas de quilômetros de diâmetro.

Depois da década de 1830, o interesse pela Lua decaiu muito, já que se pensava que a Lua era um mundo morto, onde nada jamais aconteceu. Todavia, muitos observadores amadores continuaram fa-

(*Em cima*) As fendas Triesnecker

(*Em cima, à direita*) Domos ou cúpulas lunares na região de Hortensius

(*À direita*) Possível processo de formação de crateras

Magma quente debaixo da crosta

Crosta forçada a formar domo

Rupturas da crosta — gás e material expulsos

Domo colapsado volta a derreter-se em magma

Aparência final

zendo uma grande quantidade de observações sérias da Lua e surgiram, então, relatórios de alegadas pequenas modificações na sua superfície. O primeiro indício verdadeiramente bem documentado de atividade na superfície da Lua foi a observação de emissão gasosa na cratera Alphonsus pelo observador soviético Kozyrev, em 1958. Desde então, tem havido uma observação atenta das regiões suspeitas de tais erupções e é verdade, sem dúvida, que existe uma atividade localizada, de alguma natureza, na Lua.

As teorias da origem das crateras têm sido numerosas e variadas. Chegou a ser sugerido que os habitantes da Lua sofreram uma guerra devastadora, com as crateras tendo sido formadas por explosões de bombas. Atualmente, só há duas

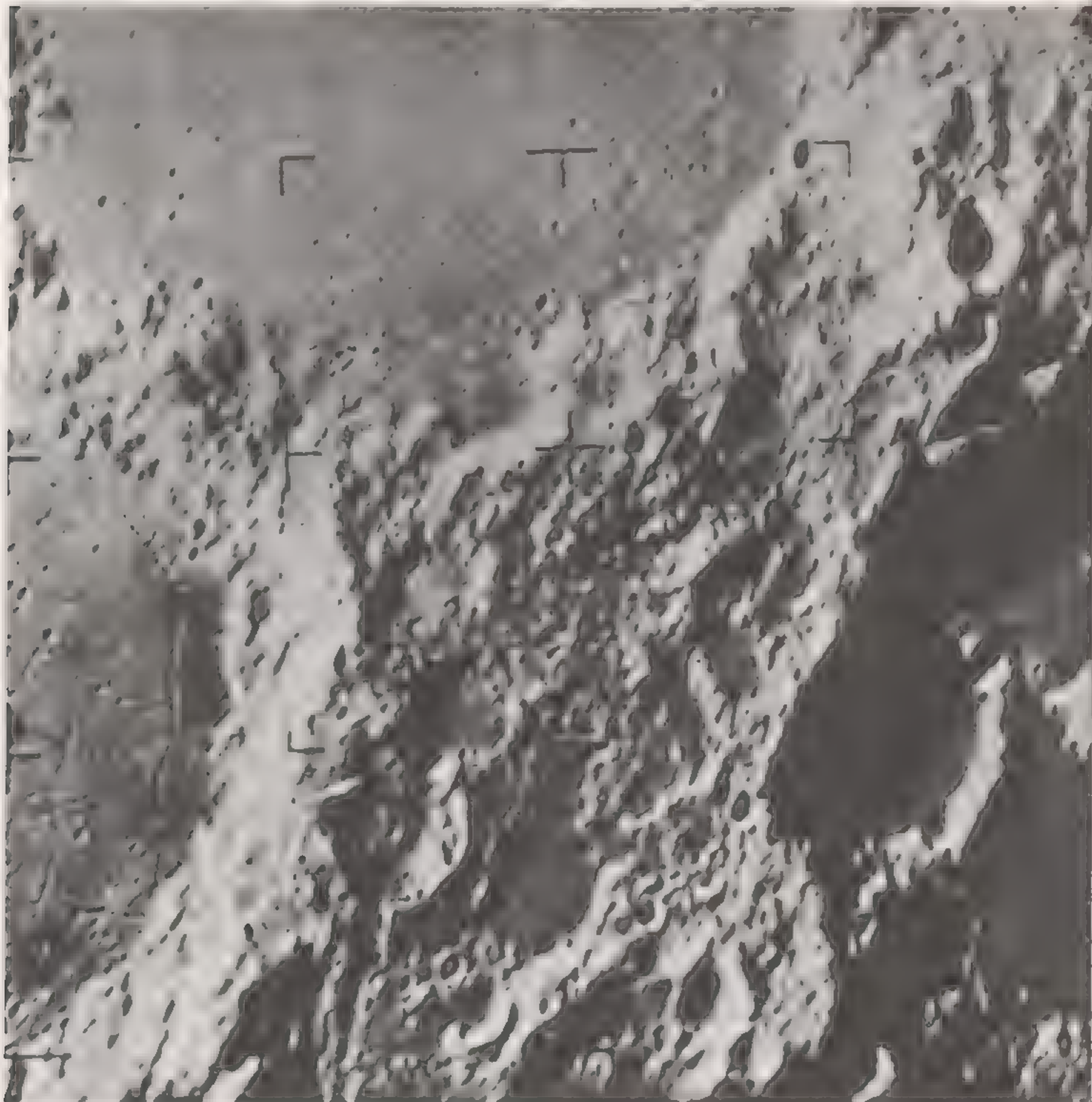
Nave espacial americana Ranger sobre a Lua

teorias sérias: as crateras foram formadas por alguma espécie de atividade vulcânica interna ou, então, foram causadas pelo impacto de meteoritos, no passado. Ambos esses tipos de crateras existem na Terra e, assim, os dois tipos também podem ser encontrados na Lua. A questão é qual dos dois processos foi o principal na formação das crateras da Lua.

Que aparência tem a superfície lunar? Basicamente, parece ser composta por dois tipos principais de rocha, as rochas escuras, freqüentemente conhecidas como *lunabase*, que formam os mares, e as rochas brilhantes, *lunarita*, formando as regiões altas, as bordas das crateras, etc. As observações feitas da Terra deram algumas indicações sobre a natureza destas rochas. Assim, por exemplo, analisando a luz refletida por elas, descobriu-se que as áreas de lunabase eram semelhantes à lava corrida na Terra. Na realidade, assemelham-se à lava corrida. Pensava-se que a lunarita seria uma rocha mais leve, talvez com estrutura de favo de mel.

Sejam quais forem os tipos de rocha que há na Lua, essas rochas estão sujeitas a tremendas forças de erosão. Na realidade, as temperaturas vão de 100°C durante o dia lunar até cerca de

Sonda lunar soviética de pouso suave, Luna 13

Fotografia feita pelo Ranger 9, cerca
de 1.200 km acima da Lua, mostrando partes
de Ptolomeu e de Alphonsus

-130ºC à meia-noite lunar, com esses extremos de temperatura fazendo com que as rochas se rachem e despedacem. As rápidas mudanças de temperatura são devidas, em grande parte, ao fato de a Lua não ter atmosfera (ou de qualquer modo, qualquer atmosfera sua teria a densidade menor que 1/10.000 da da atmosfera na Terra) e, assim, o calor que alcança a superfície lunar sem qualquer impedimento durante o dia lunar irradia-se para fora do satélite, muito rapidamente, à noite. A falta de atmosfera significa que a superfície está exposta a toda a espécie de radiações, bem como a um número sem conta de impactos com meteoritos. Devido a estas forças de erosão, foi sugerido que a superfície da Lua estaria coberta por espessa camada de partículas de poeira, possivelmente com centenas de metros de profundidade, formando uma espécie de areia movediça lunar, na qual qualquer nave espacial afundaria sem deixar vestígios.

Os primeiros lançamentos para a Lua que tiveram sucesso foram os da série Lunik de 1959. Os americanos fizeram muitas tentativas, sem êxito, mas os Rangers 7, 8 e 9, em 1965, enviaram à Terra resultados verdadeiramente úteis. Estas naves espaciais transportavam câmaras de televisão e enviaram milhares de fotografias da superfície do satélite antes de se chocarem com a Lua, finalmente. Estas fotos foram superadas pelas que foram enviadas pela série Orbiter de sondas destinadas para realizarem órbitas de baixa altitude em volta da Lua. Em 1966, os soviéticos conseguiram fazer

Superfície lunar vista do Módulo Lunar

Terra vista da órbita lunar

pousar suavemente, com grande sucesso, o Luna 9 na superfície do satélite. Não afundou e isto fez abandonar imediatamente a teoria da poeira profunda, semelhante a areia movediça. Esse pouso foi seguido pelo Surveyor 1, americano. Os vôos da Apolo 11 e da Apolo 12, em 1969, trouxeram de volta extraordinárias fotografias coloridas feitas pelos homens na Lua, bem como amostras de rocha lunar.

Que nos disseram os vários vôos à Lua? A superfície parece consistir, sobretudo nas partes altas, principalmente, em cascalho, indo de enormes blocos de rocha até pequenas pedras. Há uma grande quantidade daquilo que poderia ser chamado poeira, mas a camada da superfície tem firmeza suficiente para suportar o peso de uma nave espacial, já que essa camada é composta por poeira e cascalho, misturados. Não existe, por certo, qualquer camada de areia movediça lunar. Todavia, nem o Orbiter, nem a nave dos soviéticos, nem os astronautas que pisaram a Lua, conseguiram desvendar o mistério do processo de formação das crateras.

Eventualmente, uma base habitada por homens será estabelecida na Lua. O nosso satélite constituirá uma excelente base para a pesquisa astronômica – a ausência de atmosfera permitirá que os cientistas estudem todo o tipo de fenômenos que não podem ser estudados da Terra.

Planeta Marte, visto por telescópio

MARTE

Marte era o deus mitológico da guerra e a cor vermelho-sangue do planeta, certamente, simboliza isso. Primeiro dos planetas superiores, Marte é um dos mais interessantes membros do sistema solar, já que, de muitas formas, é bastante semelhante à Terra e até poderia conter algum tipo de vida.

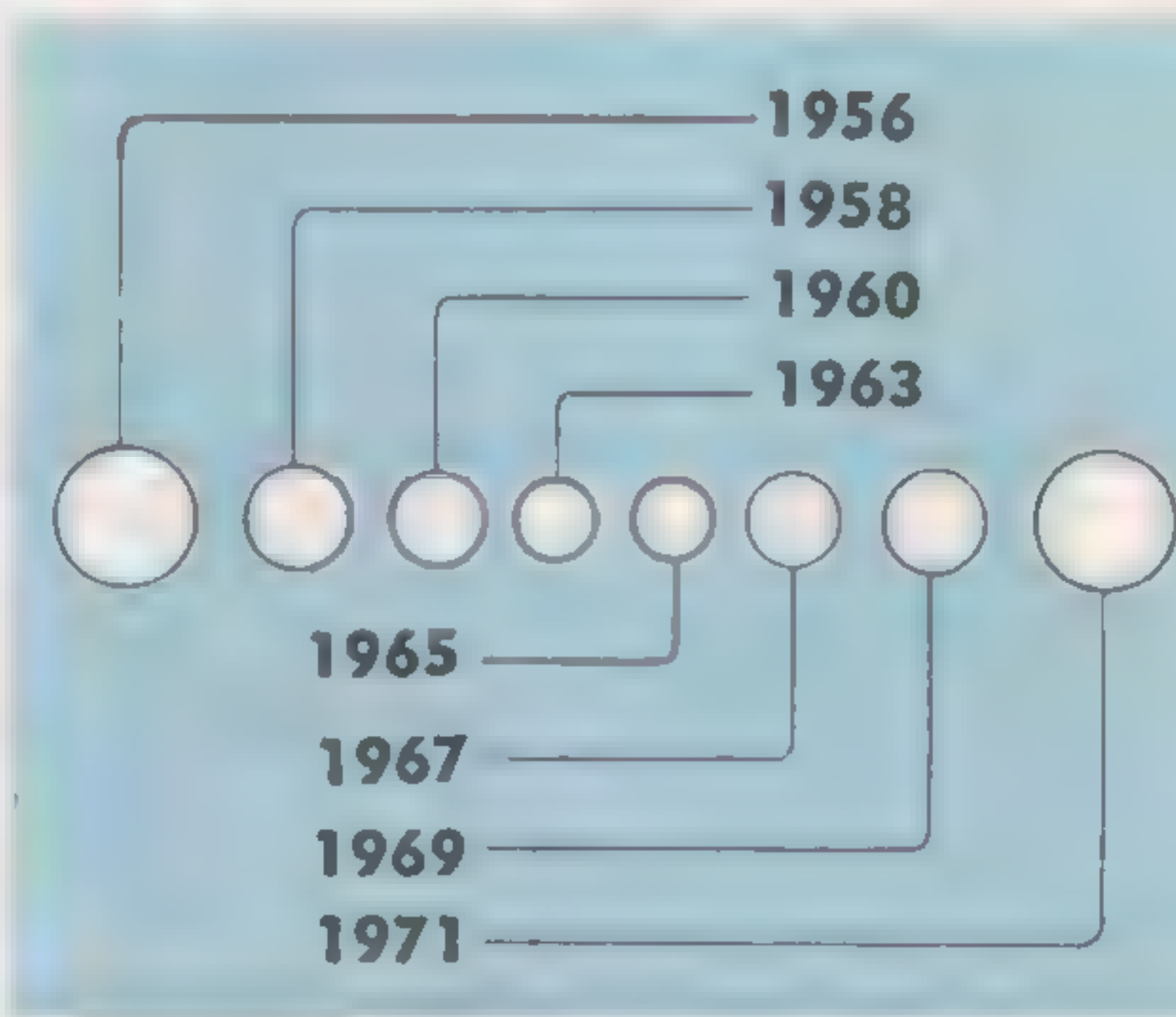
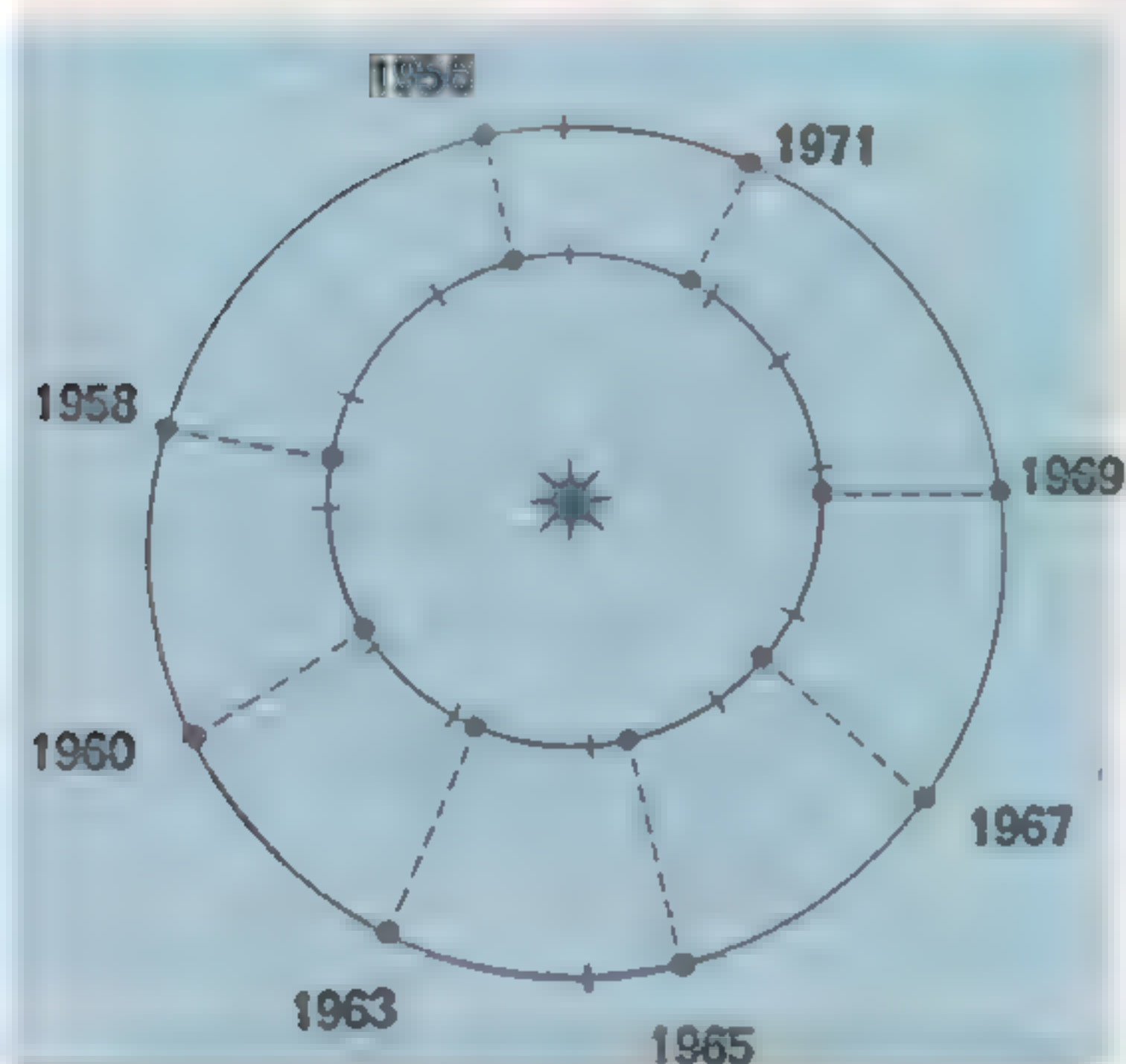
Marte move-se em volta do Sol a uma distância média de cerca de 227 milhões de quilômetros, mas, devido à relativamente grande excentricidade de sua órbita (0,09), sua distância pode variar de cerca de 207 milhões de quilômetros, no periélio, até cerca de 249 milhões de quilômetros, no afélio. Assim, a distância, em oposição entre a Terra e Marte pode variar consideravelmente: na melhor oposição pode aproximar-se até ficar apenas a cerca de 56 milhões de quilômetros, mas numa oposição distante poderá encontrar-se a mais de 96 milhões de quilômetros. O tamanho aparente do planeta em oposição vai de 25 até 14 segundos, enquanto, em conjunção superior, reduz-se para 3,5 segundos. O planeta, então,

encontra-se distante de nós, até cerca de 400 milhões de quilômetros. Quando Marte se encontra numa boa posição, pode ser mais brilhante do que todos os outros planetas, exceto Vênus. Contudo, normalmente, Júpiter é mais brilhante do que Marte.

Marte é um mundo pequeno, tendo apenas cerca de 6.800 km de diâmetro, com massa equivalente a perto de 1 décimo da massa da Terra, e fazendo a volta ao Sol cada 687 dias. O período sinódico entre oposições sucessivas é de 780 dias, de maneira que Marte só se encontra em oposição uma vez cada dois anos e, assim, as oportunidades para estudar bem o planeta não são muito comuns. Todavia, o estudo do disco é recompensador, pois o planeta tem muitas estruturas visíveis e bem definidas. A sua cor geral é avermelhada, mas possui muitas manchas escuras que os primeiros observadores com telescópio tomaram por mares. Infelizmente, não existem, definitivamente, extensões cobertas de água na superfície do planeta. As regiões avermelhadas parecem ser uma espécie de desertos. Os pólos contam com calotas brancas, análogas às calotas de gelo da Terra.

Como Marte tem uma velocidade de escape de perto de 5 km por segundo, só conseguiu conservar uma atmosfera relativamente tênue. Os cálculos atuais dizem que a pressão atmosférica de Marte é apenas 1 quinto da que temos na Terra. A atmosfera pode ser analisada espectroscopicamente da Terra e vários tipos de nuvens podem ser vistos.

Uma das mais proeminentes manchas escuras do planeta é de

(À esquerda) Datas de oposições de Marte.
(À direita) Tamanho de Marte em várias oposições

(À esquerda, ao alto) Christiaan Huyghens fez este desenho de Marte em novembro de 1659

(Em cima, à direita) A mesma área, a região de Syrtis Major, vista do Observatório Yerkes em setembro de 1909

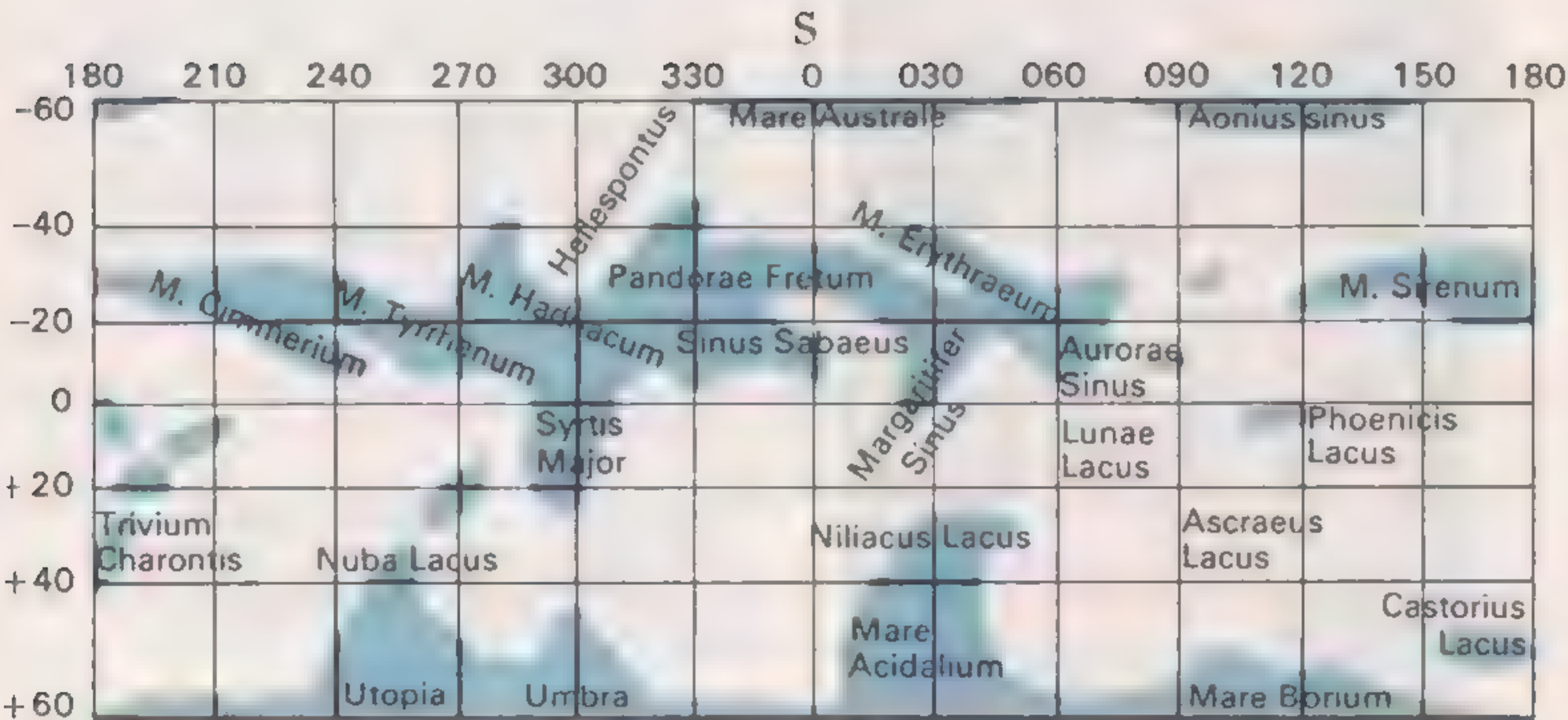
uma área triangular, conhecida pelo nome de *Syrtis Major*, que foi mostrada pela primeira vez num desenho feito pelo observador holandês Huyghens, em 1659. (Esse desenho foi usado, muito mais tarde, para ajudar a calcular um valor muito exato do período de rotação de Marte.) Mais ou menos na mesma época, Cassini detectou pela primeira vez as calotas polares; Herschel, no final do século XVIII, fez muitos desenhos do planeta e deduziu seu período de rotação como sendo de 24 horas, 39 minutos e 22 segundos. O valor aceito atualmente é de 24 horas, 37 minutos e 23 segundos. Por volta de 1840, Beer e Madler produziram um mapa de Marte e, desde então, o planeta tem sido observado intensivamente, embora, até há pouco tempo, principalmente por amadores.

Quais as temperaturas que predominam em Marte? Como o planeta está mais longe do Sol do que a Terra, esperaríamos que Marte fosse mais frio, mas, como possui uma atmosfera, embora

muito tênue, não deverá ser tão frio, de noite, quanto a Lua. O período de rotação de 24 horas e meia, que o planeta tem, implica em que as temperaturas não podem cair muito ou demasiado subitamente. Ao que parece, agora, a temperatura equatorial de Marte pode ser tão elevada quanto 25ºC, apesar de baixar até -80ºC durante a noite. O clima, assim, é de extremos, mas não intolerável para as formas de vida que não requerem uma atmosfera densa. Apesar de a atmosfera de Marte ser rarefeita para os nossos padrões – aproximadamente o equivalente da nossa atmosfera a uma altitude de cerca de 32 km – ainda é suficiente para deter a maioria dos meteoros e diminuir as radiações nocivas.

Todos os astrônomos, virtualmente, concordam em afirmar que as manchas mais escuras, tom de ocre-avermelhado, são desertos, mas não compostos de areia como o Saara. A cor parece ser devida a um depósito de minerais coloridos, talvez felsita, um material ígneo, ou limonita, uma forma de óxido de ferro (a teoria do "deserto ferruginoso"). As regiões escuras continuam sendo um tanto misteriosas; alguns astrônomos afirmam que são devidas a certos tipos de sais que absorvem a água (higroscópicos) e outros, como veremos mais adiante, acreditam que seja áreas cobertas por uma forma de vegetação. Não existe água na superfície do planeta, mas já foi sugerido que talvez haja alguma no subsolo.

Já foram observadas nuvens muitas vezes na atmosfera marciana, embora não sejam realmente semelhantes às nossas próprias nuvens de chuva – a chuva, agora, já deve ser desconhecida em Marte.

Mapa de Marte

As nuvens marcianas enquadram-se em três categorias principais: de grande altitude ("nuvens azuis"), de altitude intermediária ("brancas") e de baixa altitude ("amarelas"). As nuvens azuis são chamadas assim devido a serem vistas melhor em luz de ondas curtas, isto é, luz azul; por outras palavras, refletem mais luz azul do que os outros comprimentos de onda. Parecem encontrar-se a alturas da ordem de 80 km mas isto de modo algum é certo. Sua natureza é incerta: cristais de gelo foram sugeridos, certa vez, mas isto, hoje, parece altamente improvável.

As nuvens brancas são vistas mais facilmente e podem, ocasionalmente, tornar-se tão proeminentes quantc as calotas polares. Parecem encontrar-se a alturas entre cerca de 8 e 25 km. Existem mais justificativas para sugerir que estas nuvens são cristais de gelo muito finos. Talvez sejam semelhantes às nossas nuvens cirros, as quais, na Terra, anunciam, de modo geral, o mau tempo. Semelhante, também, é uma névoa esbranquiçada vista, por vezes, ao longo da linha do nascer do Sol em Marte. Há uma tentativa para comparar essa névoa com a bruma da madrugada terrestre, mas é duvidoso que haja suficiente vapor de água em Marte para causar algo como uma névoa normal.

Fotografias tomadas com intervalos mostram as sempre cambiantes estruturas da camada de nuvens de Marte

Mais proeminentes, e muitas vezes escurecendo grandes regiões do planeta, são as nuvens amarelas. Estas são fenômenos de baixa altitude, provavelmente devidos a tempestades de poeira, com o material sendo soprado dos "desertos". A oposição de 1956 foi verdadeiramente próxima (a seguinte será em 1975) e as estruturas de sua superfície deveriam ter sido bem observadas. Todavia, em setembro e outubro daquele ano, nenhum pormenor pôde ser visto devido a escurecimentos amarelados que cobriram todo o planeta.

Marte tem duas pequenas luas, Phobos e Deimos ("medo" e "terror", companheiros adequados para o deus da guerra), ambas descobertas em 1877 pelo americano Asaph Hall. Os dois satélites têm ambos cerca de 16 km de diâmetro, com Deimos orbitando o planeta em 30 horas e 18 minutos, enquanto Phobos descreve a órbita no surpreendentemente curto período de 7 horas e 39 minutos. Assim, para um observador marciano, Phobos nasceria no oeste.

As calotas polares marcianas são uma fonte de grande interesse e apresentam variações consideráveis através das estações do planeta. As estações em Marte são semelhantes, em natureza, às da Terra. Para começar, a inclinação do eixo de Marte é de 25,2 graus, enquanto a da Terra é de 23,5 graus. O verão do sul de Marte também ocorre perto do periélio. O resultado é que as estações de Marte só diferem das nossas por apresentarem tempe-

As luas de Marte comparadas, em tamanho, com a Ilha de Malta

Mudanças ao longo das estações na calota polar sul de Marte

raturas mais extremas e durarem cerca do dobro do tempo. Durante o inverno do norte (verão do sul), a calota polar do norte aumenta de tamanho e a calota polar do sul encolhe, por vezes desaparecendo completamente. No verão do norte, a situação é invertida, com a calota do sul aumentando, muitas vezes, para cerca de 5.000 km de diâmetro.

Na primavera, quando uma calota começa a desaparecer, um "colar" escuro forma-se, geralmente, em sua volta e, mais tarde, uma onda escura espalha-se sobre as áreas escuras, indo até o equador. As manchas tornam-se mais distintas e a cor acentua-se. Sejam essas áreas escuras devidas a sais higroscópicos ou a vegetação, trata-se da espécie de comportamento que esperaríamos se as calotas polares fossem feitas de gelo, que se derretesse e evaporasse para formar vapor de água, o qual se espalharia, então, pelas áreas escuras.

É altamente provável que as calotas polares de Marte sejam formadas por depósitos congelados, que tenham apenas alguns milí-

metros de espessura, de maneira que a quantidade de água conservada nas calotas seja pouca. É até possível que as calotas se devam a gás carbônico sólido. Não são, por certo, espessas camadas de gelo, conforme sucede nos pólos da Terra.

Em 1965, o Mariner 4 alcançou com sucesso a região de Marte, fez medições e enviou para a Terra uma série de notáveis fotografias da superfície do planeta. Estas fotos mostram claramente que a superfície está coberta por crateras que vão até cerca de 160 km de diâmetro. As bordas destas crateras elevam-se a centenas de metros acima da superfície, enquanto o fundo das crateras se encontra a muitas centenas de metros abaixo da superfície. As crateras parecem ter sido grandemente erodidas pela ação da atmosfera marciana. Uma das características mais interessantes é o fato de as bordas de certas crateras parecerem cobertas de depósitos congelados nas regiões onde é inverno. O Mariner 4 não respondeu à pergunta que, para a maioria das pessoas, é a incógnita mais intrigante: *Há vida em Marte*?

Desde os tempos em que os astrônomos começaram a estudar

Esta fotografia feita pelo Mariner 4
mostra claramente crateras em Marte

sua superfície em detalhes, que Marte tem sido considerado o único planeta (além da Terra), no sistema solar, em que vida, possivelmente semelhante à nossa, pode existir. Já foi sugerido que Marte poderá abrigar seres inteligentes, talvez mais evoluídos do que nós próprios e certas estórias, como "A Guerra dos Mundos", de H. G. Wells, ajudaram a despertar o interesse público pelo assunto. Atualmente, ainda se pensa que um tipo de vida bastante elementar poderá existir no planeta, mas as supercivilizações e os discos voadores não recebem o menor apoio por parte dos astrônomos sérios.

Um tremendo estímulo ao interesse por Marte foi dado com a descoberta, por Schiaparelli, em 1877, de um desenho de linhas escuras na superfície do planeta. Schiaparelli deu o nome de "*canali*", ou canais, a essas marcas lineares. Todavia, a palavra, quando traduzida, sugeriu imediatamente que se tratava de canais de construção artificial. Percival Lowell fundou o Observatório de Flagstaff, nos Estados Unidos, para estudar, principalmente, os canais marcianos e dedicou cerca de 20 anos, desde 1894, a estas observações. Lowell traçou mapas de centenas de canais e convenceu-se de que eles faziam parte de um enorme sistema de irrigação, construído pelos habitantes para combater a escassez de água no planeta. Por vezes, os canais apareciam dobrados e Lowell afir-

Até recentemente, os astrônomos produziram imagens mostrando "canais" em Marte. Os estudos atuais eliminaram esta teoria

mou, então, que se tratava da abertura de canais de reserva. Atualmente, os canais de Lowell já não são aceitos como tais. Observadores com equipamento melhor têm sido incapazes de ver essa rede de canais. Alguns dos supostos canais existem, mas, quando muito aumentados, revelam-se como manchas de material mais escuro, alinhadas toscamente. O olho tem uma tendência para juntar tais características no limite de visibilidade. A descoberta de crateras em Marte sugere que os canais sejam, na realidade, cadeias de crateras formadas ao longo de linhas de fraqueza estrutural.

Para que a vida como nós a conhecemos possa existir em Marte, o planeta terá de possuir uma atmosfera cuja densidade não seja muito diferente da da nossa. Outro dos fatores essenciais é um abastecimento adequado de oxigênio livre, o gás essencial para a vida humana e animal, e de água. Marte tem uma atmosfera muito tênue, constituída na sua maior parte por nitrogênio e contendo apenas cerca de 0,1% de oxigênio e muito pouco vapor de água. Isto, combinado com as variações de temperatura, elimina a possibilidade de vida evoluída, animal ou vegetal, tal como a conhecemos. A atmosfera superior elimina as radiações nocivas de ondas curtas (é muito mais transparente ao azul do que ao vermelho), mas esta camada, por vezes, pode ter falhas, expondo a superfície a raios nocivos.

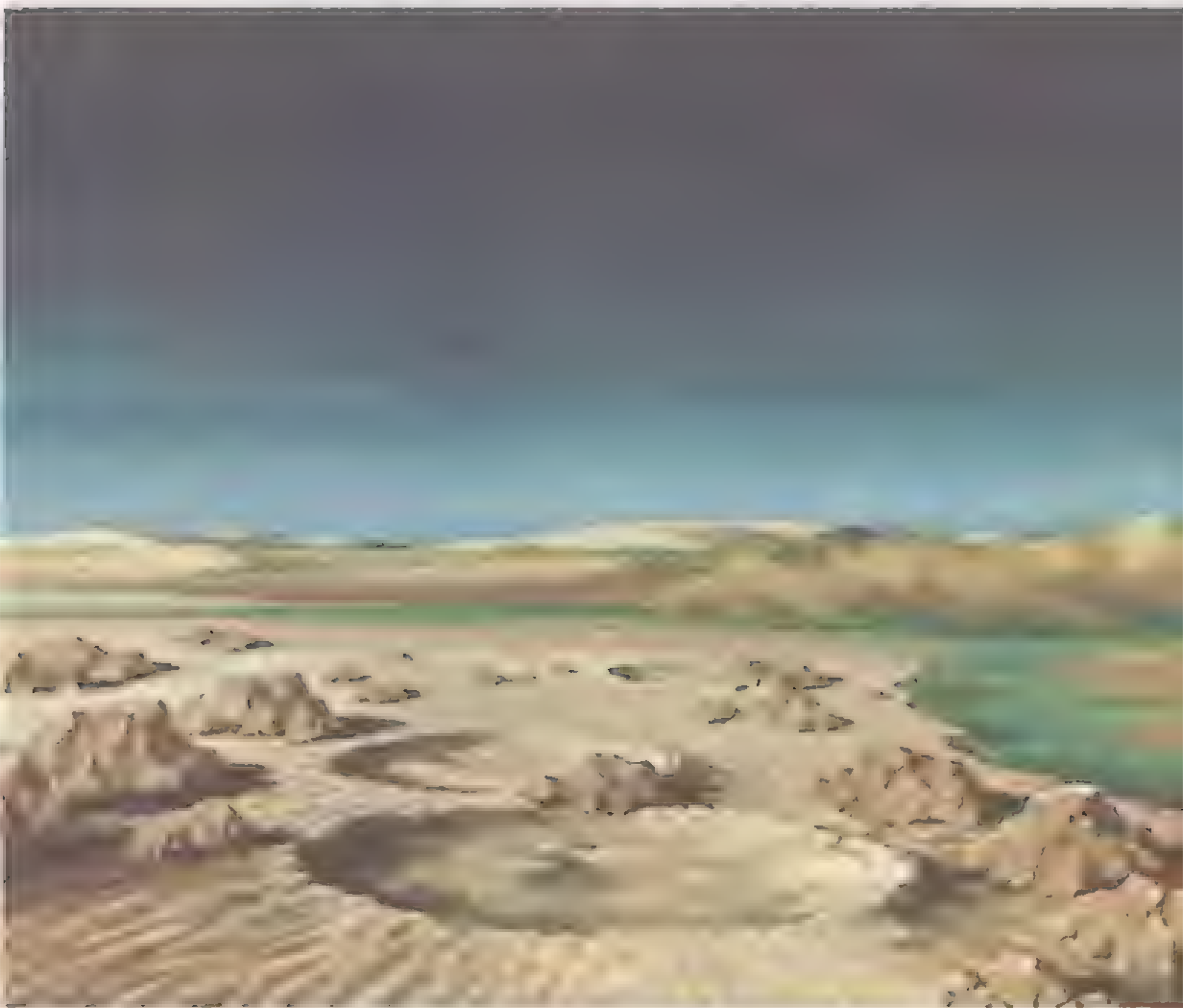
Marte visto em luz azul *(à esquerda)* e luz vermelha *(à direita)*. Como pode ser visto, a atmosfera superior de Marte é menos transparente ao azul

Poderá qualquer forma de vida existir em Marte? A resposta é, possivelmente, sim. Já foram realizadas experiências em laboratórios durante as quais várias plantas e organismos foram sujeitos a condições marcianas simuladas. A maioria das plantas morreu quase imediatamente, mas algumas das mais primitivas e básicas sobreviveram um pouco mais. Certas bactérias continuaram vivendo, não muito confortavelmente, reconhecemos, durante períodos consideráveis. Isto é mais significativo do que parece, pois devemos recordar que essas bactérias sobreviveram sem terem tido tempo para uma adaptação das condições da Terra às de Marte. Se qualquer forma de vida rudimentar conseguiu formar-se em Marte, há todas as possibilidades de que se tenha desenvolvido até certo ponto, simplesmente pelo fato de se ter habituado ao meio ambiente. O comportamento das manchas escuras em Marte é o tipo de comportamento que se esperaria da vida vegetal e, assim, já temos, pelo menos, provas circunstanciais de vida em Marte. Na Terra, pequenas plantas muito resistentes, como os liquens, podem viver perfeitamente em picos rochosos nas montanhas e suportar condições muito desfavoráveis. Qualquer vida vegetal marciana não será mais evoluída do que os liquens rudimentares, com certeza. Uma coisa podemos afirmar: a vida animal e inteligente de qualquer modo remotamente semelhante à nossa pode ser considerada impos-

Rota do Mariner 4 para Marte. 1) O Mariner abre seus painéis solares. 2) Os painéis solares são voltados para o Sol. 3) Um censor é focalizado na estrela orientadora Canopus. 4) Foguete disparado para corrigir rota a meio caminho. 5) O Mariner é realinhado com o Sol e Canopus

sível. A questão da vida vegetal em Marte poderá talvez ser solucionada pelas sondas espaciais não tripuladas, mas é muito possível, também, que a resposta tenha de esperar pela exploração, por astronautas, da superfície do planeta.

Apesar de considerada como pura ficção há apenas dez anos, uma viagem tripulada, com astronautas, a Marte é, por certo, uma possibilidade dentro da próxima década ou pouco mais. Ninguém pode ter certeza absoluta de como será o ritmo do progresso. Um dos problemas mais sérios que têm de ser solucionados é a questão de descontaminar a nave espacial e os astronautas, para que não levem quaisquer organismos terrestres para Marte. Da mesma forma, há o perigo de uma nave, no seu regresso, introduzir na Terra organismos marcianos desconhecidos, se é que eles existem. De todos os modos, Marte parece um lugar mais favorável do que a Lua para estabelecer uma base. A temperatura é melhor e a atmosfera oferece alguma proteção contra os meteoros e as radiações nocivas. Trata-se, por certo, do mais acolhedor planeta no sistema solar, além da Terra.

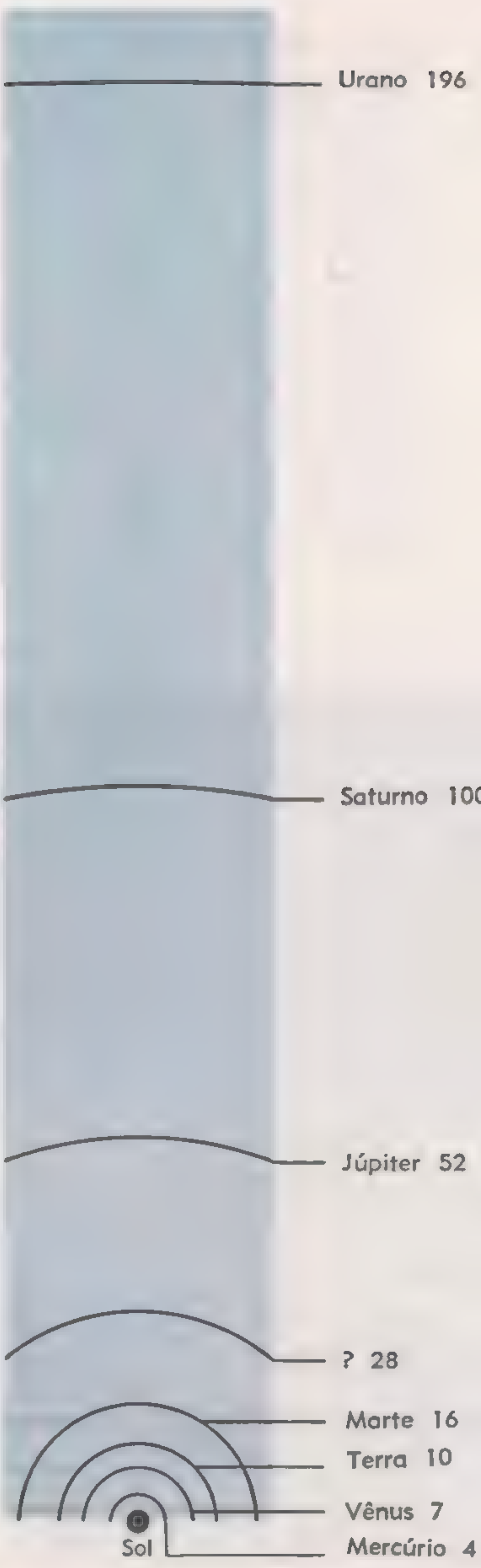
Concepção artística da superfície de Marte

ASTERÓIDES

Os planetas do sistema solar dividem-se em dois grupos distintos: os quatro planetas interiores, Mercúrio, Vênus, a Terra e Marte, por um lado, e por outro, os exteriores: Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e Plutão. Há um vazio muito distinto entre Marte e Júpiter. Kepler chegou a dizer: "Entre Marte e Júpiter, coloco um planeta". Em 1772, Bode, do Observatório de Berlim, chamou a atenção para uma curiosa relação entre as distâncias dos planetas. Esta relação, agora conhecida como lei de Bode, é a seguinte:

Tomemos os números 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, em que, fora os dois primeiros números, cada número é o dobro do anterior. Acrescentando 4 a cada um deles, teremos 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196. Conforme essa seqüência mostra, se tomarmos a distância da Terra ao Sol como sendo 10, e calcularmos as distâncias relativas dos outros planetas, a lei de Bode prevê as distâncias de um modo surpreendentemente exato.

A lei não se aplica muito bem a Netuno e a Plutão, e, como veremos mais adiante, a órbita de Plutão, pelo menos, é no mínimo, curiosa.

Um exame da tabela mostrará que não há qualquer planeta correspondente à distância 28, prevista pela lei de Bode, isto é, o vazio entre Marte e Júpiter. Se um tal planeta existe, terá de ser muito pequeno e pálido para ter escapado à detecção durante tanto tempo.

A lei de Bode indica que deveria haver um planeta entre Marte e Júpiter

Planeta	*Distância pela lei de Bode*	*Distância real*
Mercúrio	4	3,9
Vênus	7	7,2
Terra	10	10
Marte	16	15,2
?	28	—
Júpiter	52	52
Saturno	100	95,4
Urano	196	191,8 *

* **Observação:** As distâncias são dadas em décimos de Unidade Astronômica (**U.A.**). A **U.A.** corresponde à distância média da Terra ao Sol.

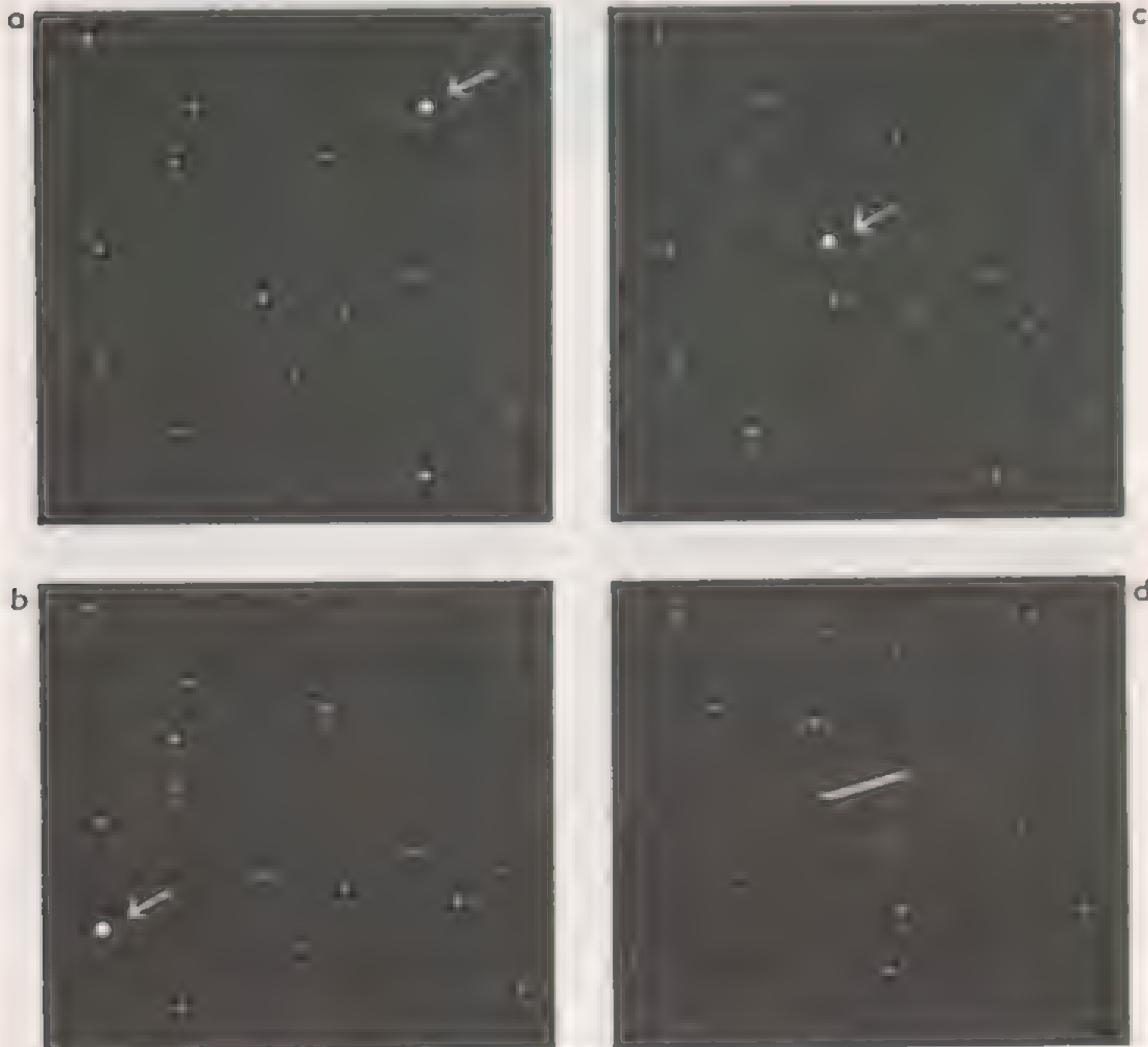
Em 1800, seis astrônomos europeus iniciaram uma busca sistemática pelo planeta perdido. O grupo tornou-se conhecido pelo nome de "polícia celeste", com o húngaro Von Zach como secretário. Todavia, foram antecipados pela descoberta de um corpo móvel, em 1.º de janeiro, por Piazzi, na Sicília. Piazzi escreveu a Von Zach, contando-lhe suas observações e, embora nesse momento o possível novo planeta já estivesse demasiado perto do

Um asteróide pode ser detectado por uma seqüência de fotografias *(a,b,c)* ou, se estiver perto, pelo traço que deixa numa exposição longa *(d)*

a

c

b

d

Sol para ser visto, o alemão Gauss conseguiu calcular uma órbita e prever o reaparecimento do planeta. No ano seguinte, o planeta voltou a aparecer e foi confirmado. Ceres, como o novo planeta foi chamado, era um mundo muito pequeno, com menos de 800 km de diâmetro.

O pequeno tamanho de Ceres levou a "polícia celeste" a pensar que talvez houvesse outros pequenos planetas aproximadamente na mesma região, o que fez com que continuasse sua busca. Sua

Alguns asteróides comparados, em tamanho, com as Ilhas Britânicas

paciência foi recompensada em 1802, quando um dos astrônomos do grupo, Olbers, descobriu um segundo asteróide, menor e mais distante do que Ceres, que foi chamado Palas. Olbers sugeriu que os dois planetas talvez fossem fragmentos de um planeta maior que se desintegrara por qualquer motivo. Um terceiro asteróide, Juno, foi descoberto em 1804 e um quarto em 1807, Vesta. Este era o mais brilhante dos quatro e, ocasionalmente, pode ser visto a olho nu, como um ponto muito pálido.

Depois disto, a "polícia celeste" abandonou sua busca. Todavia, em 1845, o amador alemão Hencke descobriu um quinto asteróide,

Astréia, e um sexto, dois anos mais tarde. Em 1850, foram descobertos mais doze e, atualmente, já há 2 mil com suas órbitas calculadas. Dos asteróides mais brilhantes, os seguintes podem ser vistos facilmente com um telescópio pequeno: Ceres, Palas, Juno, Vesta e, entre outros, o número 7, Íris, e o número 9, Métis. Os primeiros quatro também são os maiores, com seus diâmetros sendo aproximadamente: Ceres, 800 km; Palas, 490 km; Juno, 195 km; Vesta, 390 km. Nenhum outro asteróide é conhecido com diâmetro

Os asteróides menores são apenas pedaços de rocha em órbita em volta do Sol

superior a 160 km, e a maioria tem apenas alguns quilômetros de ponta a ponta.

Parece provável que não haja grande diferença entre um grande meteorito e um asteróide muito pequeno; na realidade, poderá mesmo haver uma distribuição contínua de tamanhos desde os asteróides até os meteoritos. Ambos são como destroços do sistema solar.

Como é que os asteróides foram formados? Embora os maiores pareçam esféricos, os menores têm forma irregular, sendo como enormes fragmentos de rocha. (É difícil distinguir a forma de um

Saturno

Hidalgo

Hermes

Eros

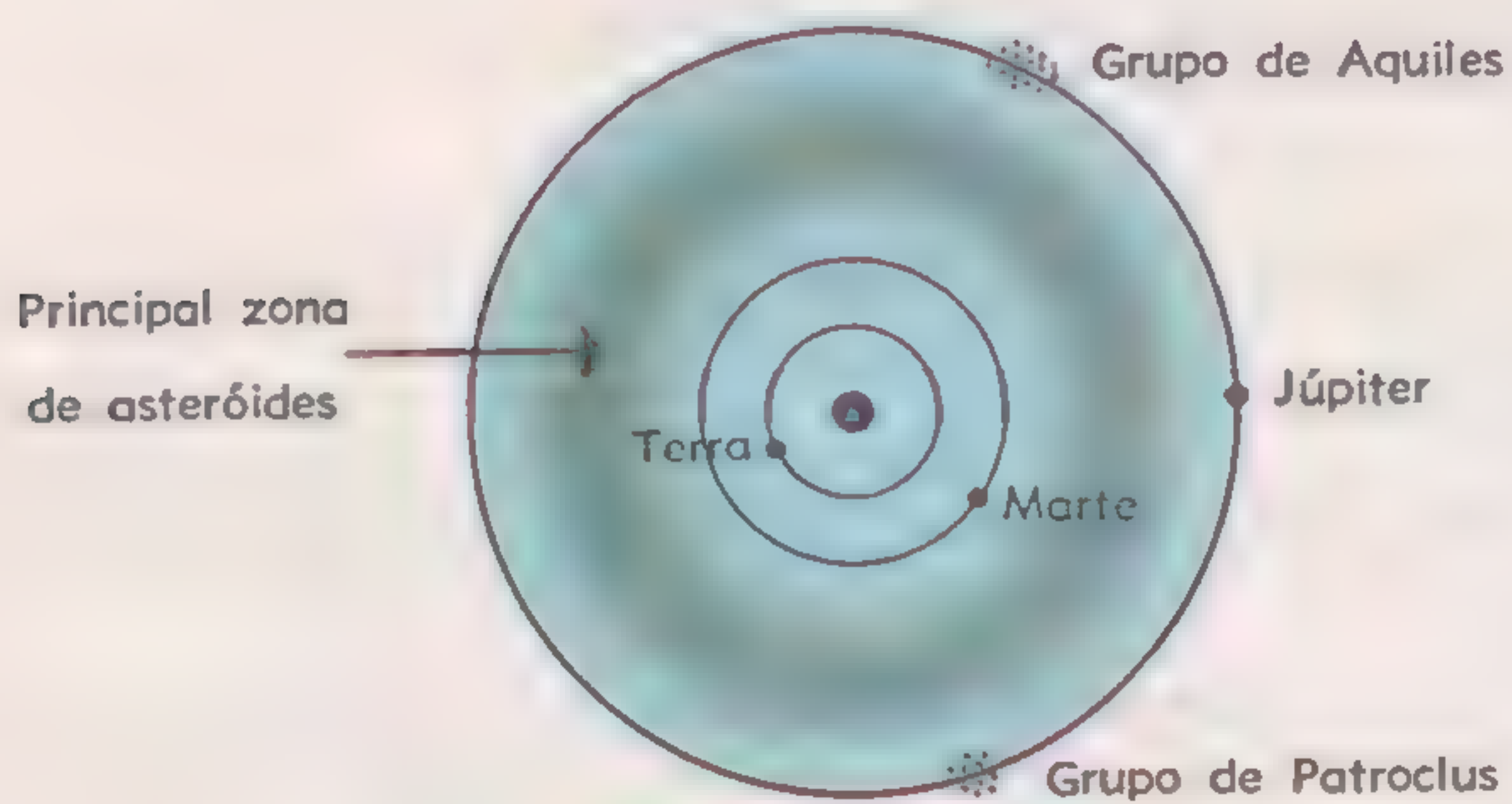
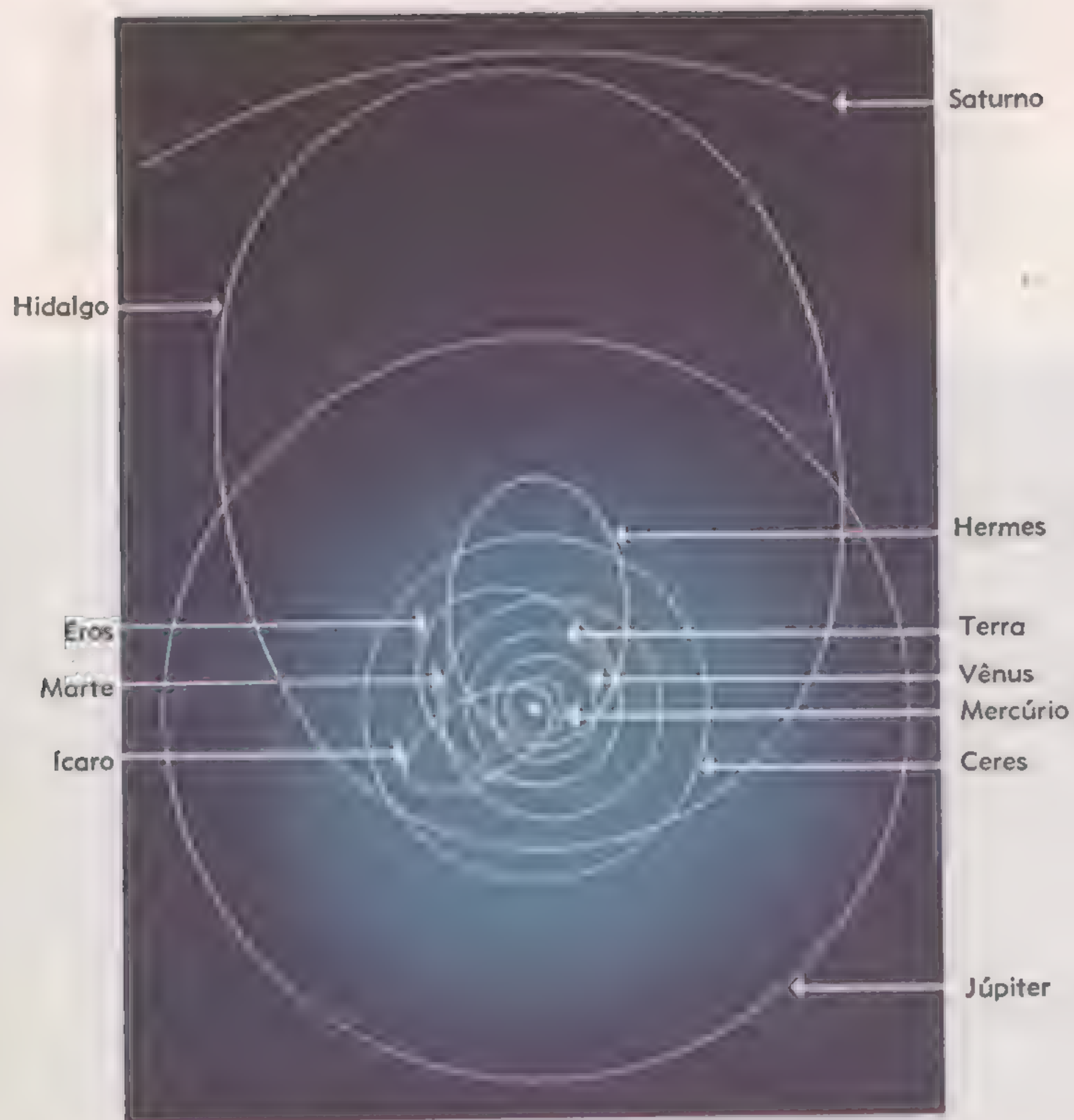
Terra

Vênus

Marte

Mercúrio

Ícaro

Ceres

Júpiter

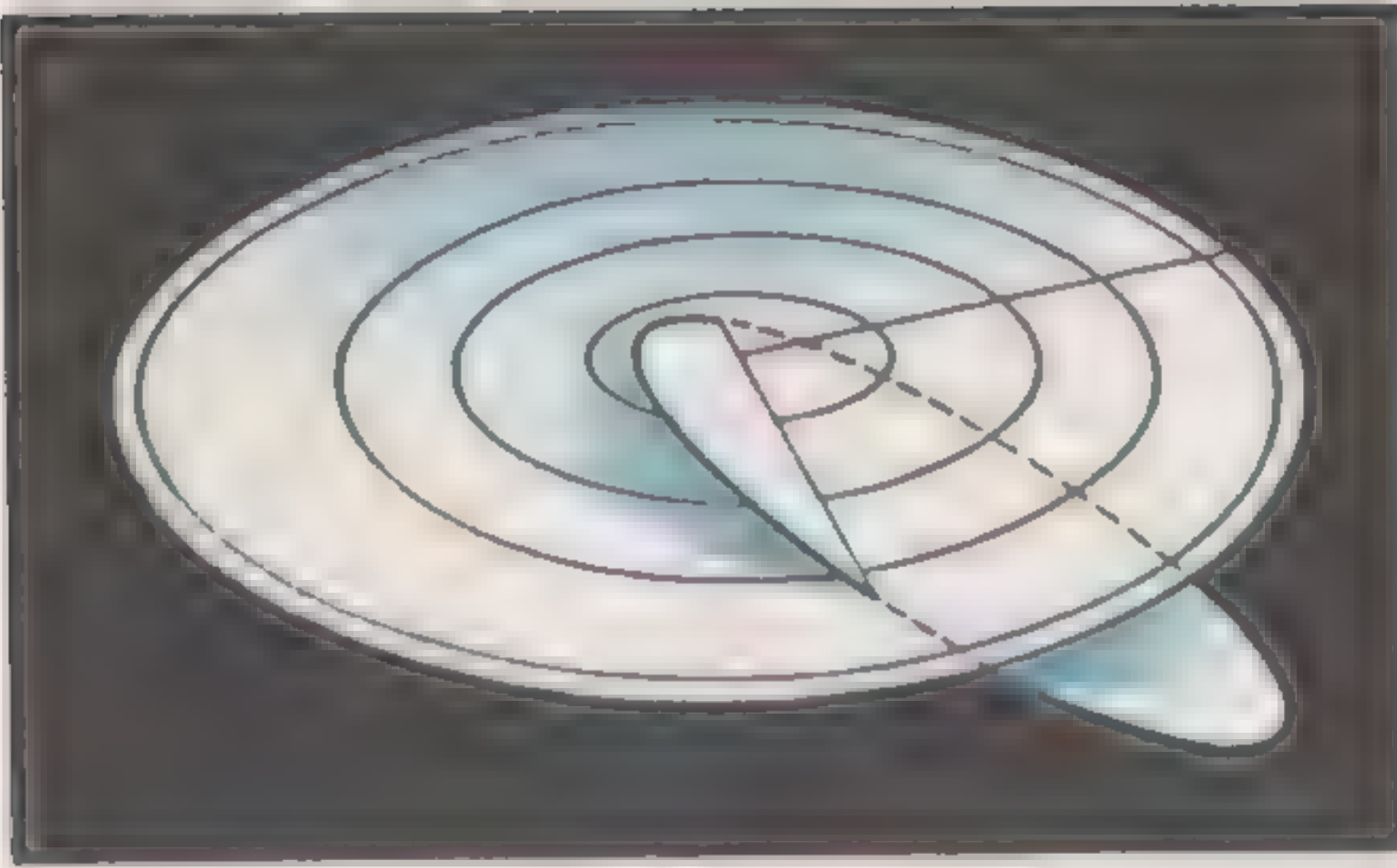
asteróide, mas um corpo irregular girando sobre seu eixo varia em brilho, como os asteróides tendem a fazer.) Assim, assemelham-se, superficialmente, a fragmentos de um planeta maior que, em dado momento, teve sua órbita entre Marte e Júpiter. A razão de um planeta explodir assim, entretanto, não é bem clara. A massa total dos asteróides ainda é muito pequena e, desse modo, o planeta original também deve ter sido pequeno. Outra teoria é que esses asteróides são apenas material que não formou planetas.

A consideração das órbitas dos três primeiros asteróides levou Olbers a sugerir que eram fragmentos de um planeta que explodira. A mecânica celeste revelou que, se um corpo em órbita em volta do Sol explodisse, então, as órbitas dos fragmentos se interceptariam mais ou menos num ponto, embora fossem grandemente diferentes, com esse ponto sendo o lugar em que a explosão ocorreu. Na realidade, as órbitas de Ceres, Palas e Juno parecem interceptar-se num ponto, na constelação da Virgem, para sermos exatos, e Olbers, então, concentrou sua busca de mais asteróides nessa região. Sua hipótese ganhou suporte pelo fato de ter descoberto Vesta nessa área. Todavia, os cálculos depressa revelaram que a órbita de Vesta não interceptava a dos outros. Agora, que já sabemos que há milhares de asteróides com órbitas que não se interceptam, poderíamos pensar que a hipótese de Olbers era errada. Contudo, as órbitas dos asteróides estão sujeitas a perturbações pelos grandes planetas, particularmente Júpiter e, assim, seria extremamente surpreendente encontrar órbitas interceptando-se depois dos bilhões de anos que decorreram, presumivelmente, desde que os asteróides se formaram. A questão, portanto, continua em aberto.

As órbitas dos asteróides variam consideravelmente. Ceres move-se numa órbita quase circular a cerca de 430 milhões de quilômetros do Sol, enquanto, no extremo oposto, o asteróide Hidalgo tem uma órbita tão excêntrica que, no periélio, passa pouco fora da órbita de Marte, mas está tão distante quanto Saturno, quando no afélio. Enquanto a maioria dos planetas se move em planos bastante parecidos com o da Terra, Palas, por exemplo, tem uma órbita inclinada 34 graus em relação à da Terra. Ícaro tem extremos tremendos, já que, no afélio, se afasta até cerca de 290 milhões de quilômetros do Sol e, no periélio, passa a apenas 32 milhões de quilômetros do Sol, muito mais perto do que Mercúrio. A superfície de Ícaro deve, então, ser vermelha de calor.

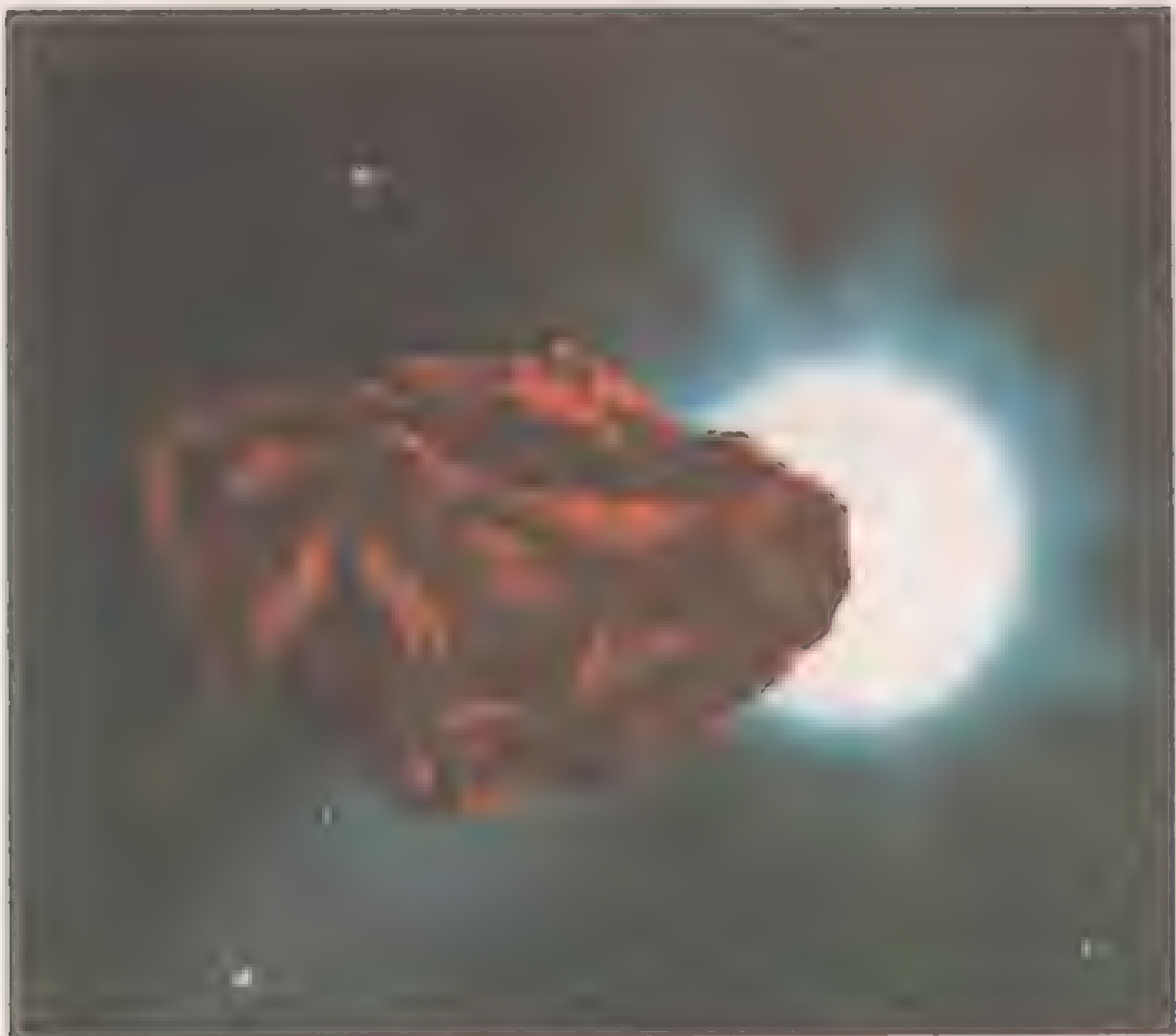
Júpiter capturou "famílias" de asteróides que se movem na mesma órbita do que ele próprio. Não há perigo de colisão, contudo, pois uma dessas "famílias", os gregos, se encontra 60 graus na frente de Júpiter, enquanto que a outra "família", os troianos, está 60

(Ao alto, à esquerda)
Órbitas de alguns asteróides

(Ao lado, à esquerda)
A principal zona de asteróides
encontra-se entre Marte e Júpiter

(Em cima) A órbita do asteróide Hermes quase intercepta a da Terra. *(Embaixo)* Tamanho de Eros comparado com a Ilha de Malta

graus atrás do planeta, devido à atração combinada do Sol e de Júpiter.

Como alguns dos asteróides passam mais perto do Sol do que a Terra, é evidente que suas órbitas têm de cruzar a da Terra. Normalmente, passam milhões de quilômetros acima ou abaixo da órbita da Terra, mas alguns aproximam-se muito mais. Em 1899, o asteróide 433 foi descoberto por Witt, em Berlim, recebendo o nome de Eros. Este é alongado, com cerca de 24 km por 6,5 km, e se aproximou até cerca de 27 milhões de quilômetros da Terra em 1931. Medições cuidadosas de seus movimentos permitiram que um valor mais exato da unidade astronômica (a distância da Terra ao Sol) fosse calculado. Ele poderá aproximar-se até 24 milhões de quilômetros na sua próxima volta que será em 1975. Em 1932, foram descobertos mais dois asteróides, que chegam muito mais perto da Terra, Amor e Apolo. Denominados "rasantes da Terra" por razões óbvias, chegaram respectivamente até 16 milhões e 11 milhões de quilômetros da Terra. Todavia, o recorde não tardou a ficar com Adônis que passou por nós a uma distância de pouco mais de 2 milhões de quilômetros.

O ano de 1937 assistiu à descoberta de um "rasante da Terra"

Visto de um asteróide, o Sol seria intenso

ainda mais interessante, chamado Hermes, tendo apenas pouco mais de 1,5 km de diâmetro. Aproximou-se da Terra cerca de 780 mil quilômetros e, se sua órbita não for muito perturbada durante suas viagens, poderá vir a passar entre a Terra e a Lua. Uma tal aproximação, em janeiro de 1938, foi aproveitada pela imprensa como um desastre mundial a que escapamos por pouco, mas jamais houve o perigo de uma colisão. Para que uma tal colisão se verifique, duas coisas são necessárias: *(a)* que os planos orbitais do asteróide e da Terra se interceptem e *(b)* que ambos os corpos se encontrem exatamente no mesmo ponto, no mesmo momento. Não há asteróide algum, conhecido, que satisfaça a condição *a* e as possibilidades de isso ocorrer são de milhões contra uma. Mesmo que *a* fosse possível, *b* é uma possibilidade tão remota que nem merece que nos preocupemos com ela. Todavia, se uma tal colisão se verificasse o resultado seria devastador.

Já foram feitas várias sugestões quanto a possíveis usos dos asteróides. Poderiam ser usados como observatórios, habitados ou não – Ícaro seria ideal para isso, sem tripulação humana, é claro – ou, então, poderiam ser uma fonte, para nós, dos minérios que contêm. De qualquer modo, são objetos muito interessantes.

PLANETAS GIGANTES

Júpiter e Saturno são os gigantes do sistema solar e Júpiter, na realidade, possui massa maior do que todos os outros planetas juntos. Júpiter era o rei dos deuses, que os antigos gregos acreditavam viver no cimo do Monte Olimpo, e esse título convém, por certo, ao maior dos planetas. Saturno era o pai de Júpiter e o deus do tempo e do destino, com sua grande idade sendo sugerida pelos astrólogos, de certo modo, devido à cor amarelada do planeta. Os astrólogos atribuíram poderes maléficos a Saturno e anunciaram terríveis conseqüências para quem nascesse sob a influência desse planeta.

Júpiter

Júpiter é um mundo verdadeiramente enorme, onze vezes maior, em diâmetro, do que a Terra, com um diâmetro equatorial de cerca de 142 mil quilômetros. O volume do planeta seria suficiente para abrigar 1.300 Terras. Todavia, a densidade média de Júpiter é notavelmente baixa, cerca de 1,3 vezes maior do que a da água, de modo que sua massa é equivalente a apenas 317 Terras.

Júpiter gira em volta do Sol num período de 11 anos, 10 meses e 3 dias a uma distância média de cerca de 772 milhões de quilômetros. Sua órbita tem uma excentricidade de 0,048, consideravelmente maior do que a excentricidade da órbita da Terra e, assim, no periélio, Júpiter fica a cerca de 736 milhões de quilômetros do Sol, em comparação com 811 milhões no afélio. A distância de Júpiter à Terra pode variar de cerca de 625 milhões de quilômetros numa boa oposição até cerca de 960 milhões, em conjunção superior, com o diâmetro angular indo de 30 até 50 segundos de arco. Esta variação em tamanho não é tão grande quanto a de qualquer dos planetas que consideramos até agora e o brilho de Júpiter também não varia grandemente. De modo geral, Júpiter é o mais brilhante dos planetas, exceto quando Vênus está bem colocado e, ocasionalmente, quando Marte se encontra numa oposição particularmente favorável. O período sinódico do planeta é de 399 dias e, assim, oposições sucessivas ocorrem aproximadamente um mês mais tarde cada ano. Júpiter é, na realidade, um planeta muito fácil de observar, já que apresenta um vasto disco e é visível o ano inteiro, com exceção de um ou dois meses perto da conjunção superior. Mesmo então, seu tamanho aparente é maior do que o de Marte nos seus melhores momentos. Pequenos telescópios poderão mostrar muitos pormenores na superfície de Júpiter.

A primeira pessoa a observar Júpiter por telescópio foi Galileu em 1609 e, até mesmo com seu minúsculo instrumento, conseguiu distinguir muita coisa no planeta. Um dos fatos que se torna imedia-

Júpiter e Saturno comparados

Júpiter e Terra comparados

As faixas de nuvens de Júpiter

tamente óbvio é seu disco estar longe de ser circular; Júpiter é achatado nos pólos e saliente no equador, de modo que, enquanto seu diâmetro equatorial é de cerca de 142 mil quilômetros, o diâmetro de pólo a pólo é apenas de cerca de 134 mil quilômetros, uma diferença de aproximadamente 8 mil quilômetros. A Terra também é achatada nos pólos, mas apenas por uma questão de cerca de 32 km. Este achatamento (a forma é chamada um esferóide oblato) sugere que o planeta não é verdadeiramente sólido no sentido em que os planetas interiores o são e parece que a superfície que vemos é o topo de um mar de nuvens. Júpiter tem uma rotação muito rápida: gira sobre seu eixo em menos de 10 horas e, quando consideramos a circunferência do planeta, verificamos que as regiões equatoriais giram a uma velocidade de cerca de 45 mil quilômetros por hora (mais do que a velocidade de escape da Terra). A saliência equatorial é causada pela força centrífuga gerada por esta rápida rotação.

Por meio de telescópio, Júpiter é visto como se estivesse coberto por um sistema de faixas de nuvens paralelas a seu equador. Estas faixas mudam constantemente em largura e visibilidade, com atividade e mudanças tremendas tendo lugar nelas. A rotação do planeta pode ser observada pelo movimento das irregularidades nas faixas, sendo necessários apenas alguns minutos de observação

com um telescópio grande para ver este movimento claramente. O estudo atento das faixas mostrou que as regiões equatoriais do planeta giram um pouco mais rapidamente do que as áreas perto dos pólos e várias correntes têm períodos de rotação próprios. As regiões equatoriais supostamente giram em 9 horas e 50 minutos (sendo chamadas Sistema 1), enquanto o resto do planeta, segundo se supõe, gira em 9 horas e 55 minutos (Sistema 2). (Ver a ilustração da página 154).

A temperatura de Júpiter é muito baixa, da ordem de −140°C, e a gravidade na superfície (a aceleração que atua sobre um corpo na superfície do planeta) é duas vezes e meia maior do que a gravidade na superfície da Terra.

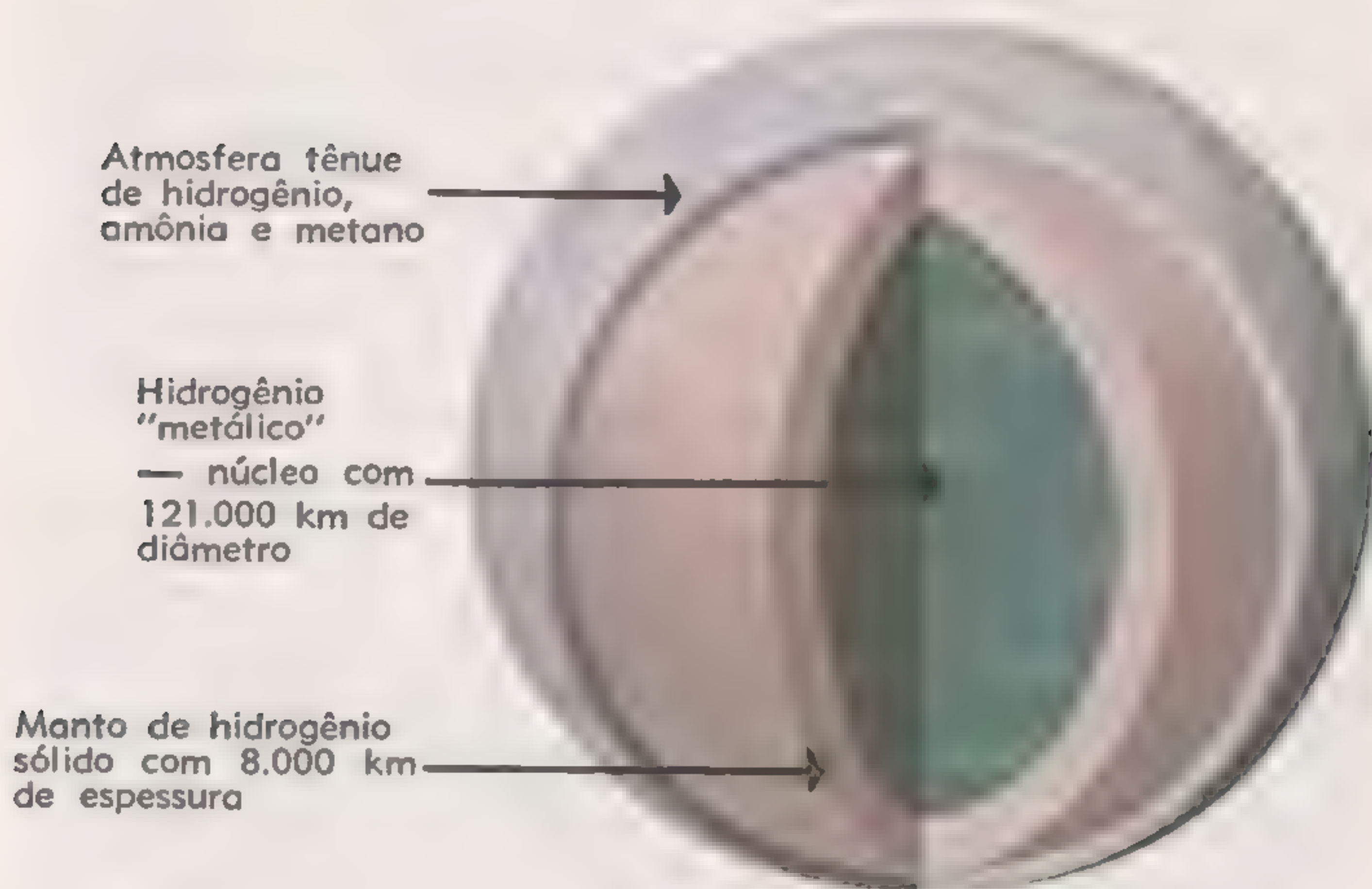
Devido à massa de Júpiter ser tão grande, sua velocidade de escape é de cerca de 59 quilômetros por segundo e, assim, tem sido capaz de reter todos os gases, inclusive o hidrogênio, cujas moléculas se movem mais rapidamente. Ao que parece, o hidrogênio é o principal componente do planeta. A análise espectral das faixas de nuvens mostrou que estas eram compostas, principalmente, de amônia e metano, ambos compostos do hidrogênio. A amônia (fórmula química NH_3) é composta de hidrogênio e nitrogênio, enquanto o metano (CH_4) é formado por hidrogênio e carbono. O metano, quando misturado com o oxigênio, é explosivo e tem sido responsável por muitos acidentes nas minas da Terra.

A observação do movimento de irregularidades nas faixas de nuvens de Júpiter mostra a rotação do planeta

Modelo de Júpiter, segundo Wildt

Qual é a estrutura completa de Júpiter? Atualmente, há duas teorias principais, sendo a primeira a de Wildt, dos Estados Unidos. Wildt sugeriu que o planeta tem um núcleo metálico rochoso com cerca de 60 mil quilômetros de diâmetro, em volta do qual se encontra uma camada de gelo com uma espessura de cerca de 27 mil quilômetros. Por cima desta camada, encontra-se a "atmosfera", que é composta, principalmente, por hidrogênio. É interessante notar que os gases nas regiões inferiores dessa atmosfera estariam sujeitos a pressões enormes e, assim, comportar-se-iam muito mais como um sólido do que como um gás.

Ramsey, na Inglaterra, propôs uma teoria alternativa que recebeu muito apoio. Basicamente, sugeriu que Júpiter é composto quase inteiramente de hidrogênio. A atmosfera consistiria, tal como na teoria de Wildt, numa mistura de amônia, metano e hidrogênio. A pressão aumentaria rapidamente com a profundidade e depressa seria suficiente para que o hidrogênio se comportasse como um sólido. Quando a profundidade de 8.000 km fosse alcançada, a pressão já teria atingido algo como 800 mil atmosferas, e o hidro-

Modelo de Júpiter, segundo Ramsey

gênio, então, comportar-se-ia como um metal. No centro do planeta, o hidrogênio metálico teria uma densidade de cerca de 3,7 vezes a da água.

Assim, no modelo de Ramsey, Júpiter consiste num núcleo de hidrogênio metálico com cerca de 121.000 km de diâmetro, rodeado por uma camada de hidrogênio sólido com cerca de 8.000 km de espessura. Por cima disto, há uma atmosfera relativamente tênue, culminando na superfície visível. Também poderia haver uma camada de hidrogênio líquido por cima da região sólida, formando um imenso oceano de hidrogênio.

Há muitas manchas que se tornam visíveis nas faixas de nuvens, mas poucas persistem durante muito tempo. Numa categoria muito diferente, há a Grande Mancha Vermelha, que se tornou proeminente pela primeira vez em 1878, embora pareça provável que Robert Hooke tenha registrado indicações sobre ela muito antes disso, em 1664. Encontrando-se na faixa temperada do sul, essa mancha era um oval cor de tijolo com cerca de 48.000 km de comprimento e 11.000 de largura. Depois de 1882, a mancha co-

meçou a desaparecer, mas o "buraco" no qual ela parecia estar permaneceu visível, embora muito palidamente. Desde esse tempo, a Grande Mancha Vermelha ressurgiu periodicamente. Desapareceu em 1959, mas, desde 1960, tem-se mostrado de novo proeminente.

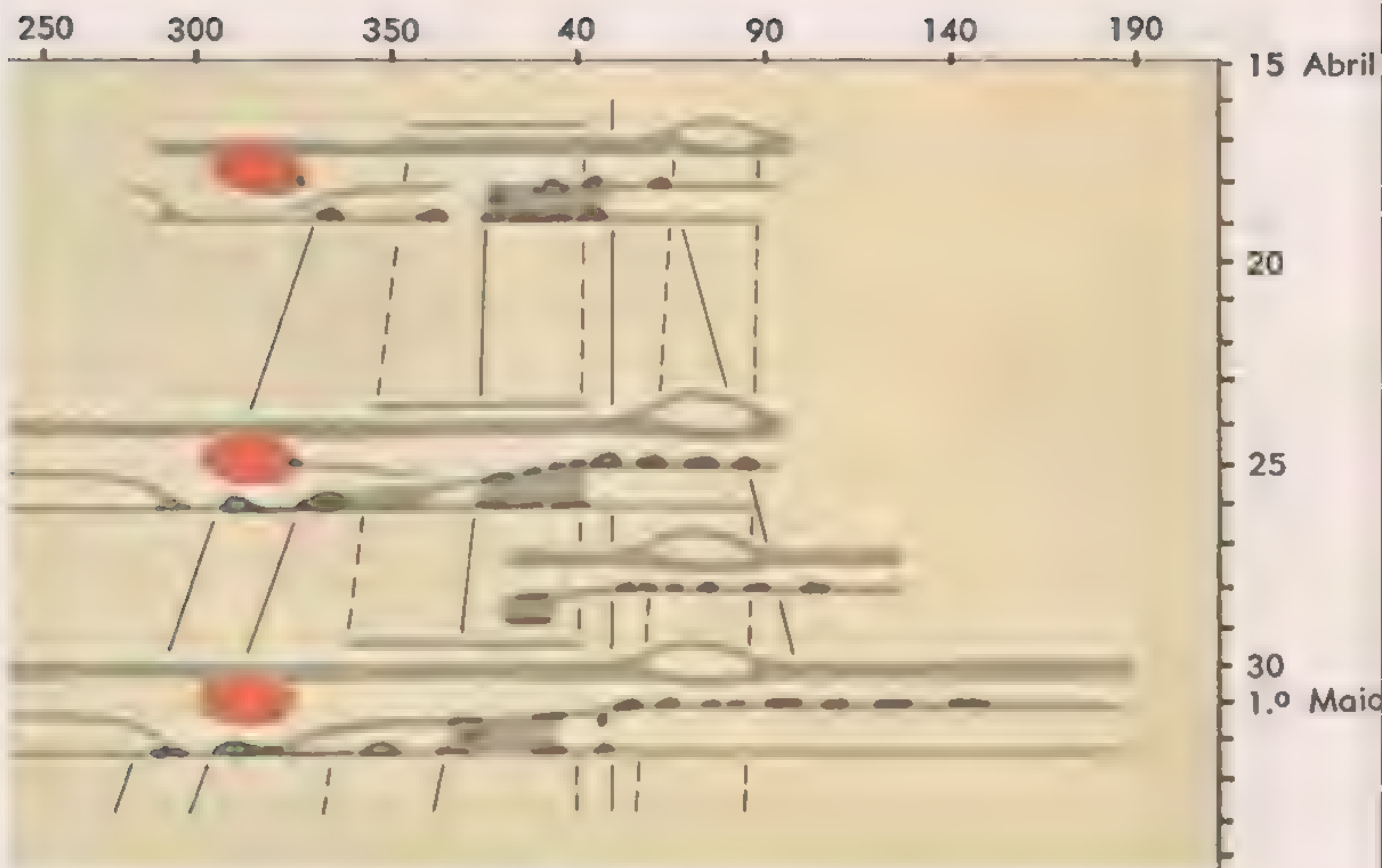
É óbvio que algo assim não pode ser uma nuvem comum, mas os astrônomos não têm idéia clara do que possa ser. Poderá muito bem ser um sólido ou um semi-sólido, uma massa de matéria flutuando na atmosfera de Júpiter, possivelmente uma mistura de amônia e sódio, solidificados, mas o mistério permanece. Várias correntes, em muitos casos caracterizadas por pequenos pontos ou manchas, têm sido observadas na atmosfera de Júpiter. No passado, uma zona escura, conhecida pelo nome de *Perturbação Tropical do Sul*, tornou-se visível por diversas vezes, interagindo com a Grande Mancha Vermelha, ultrapassando-a e arrastando-a milhares de quilômetros para fora de sua posição, até a mancha voltar de novo a seu lugar.

Como convém ao maior planeta, Júpiter tem uma família de doze luas, quatro das quais foram vistas por Galileu, e que podem ser observadas a olho nu por observadores com visão excepcional. Essas quatro luas são: Calisto (com diâmetro de cerca de 5.300 km); Ganimedes (5.200 km), Io (3.700 km) e Europa (3.200 km). Assim, duas dessas luas são maiores do que o planeta Mercúrio, embora não tão densas quanto à massa. É fascinante observar os movimentos desses satélites e de suas sombras cruzando o disco de Júpiter ou sendo eclipsados pelo planeta. Fenômenos mútuos entre os satélites também se verificam. Os quatro satélites brilhantes parecem muito mais eficientes em refletir a luz do que a nossa Lua. Os outros satélites de Júpiter são pequenos, pálidos e difíceis de observar.

O astrônomo dinamarquês Römer observou que, quando Júpiter estava em oposição, os fenômenos dos satélites ocorriam mais cedo do que o previsto, enquanto, em conjunção superior, verificavam-se mais tarde. Deduziu, então, que isto era devido ao tempo levado pela luz para viajar a distância extra para a Terra e, assim, calculou um valor para a velocidade da luz, bastante aproximado do valor que é aceito atualmente.

Em anos recentes, ficou evidenciado que Júpiter é .uma fonte de ondas de rádio, embora a origem dessas ondas permaneça um mistério. Já foram feitas tentativas para correlacionar os sinais de rádio com as estruturas da superfície do planeta, usando, principalmente, observações por amadores, mas estes esforços não obtiveram grande sucesso.

Os radioastrônomos também descobriram que Júpiter possui cinturões de partículas eletricamente carregadas no seu campo magnético, semelhantes aos cinturões de Van Allen da Terra. O campo magnético de Júpiter é, provavelmente, muito mais forte do que o da Terra.

(Ao lado, à direita)
Júpiter e algumas de suas luas

Esta seqüência de fotos, feitas com intervalos, mostra o desenvolvimento de uma perturbação no anel equatorial sul de Júpiter

Saturno

Saturno é uma das mais belas visões ao telescópio em todo o céu, principalmente graças ao seu sistema de anéis, único no sistema solar, que rodeia o corpo do planeta. Saturno era o planeta mais exterior conhecido nos tempos anteriores ao telescópio e não parece particularmente interessante ou brilhante a olho nu.

Saturno move-se em volta do Sol a uma distância média de cerca de 1 bilhão e 418 milhões de quilômetros, numa órbita de excentricidade 0,056, de modo que sua distância, no periélio, é de cerca de 1 bilhão e meio de quilômetros e, no afélio, cerca de 1 bilhão e 345 milhões de quilômetros. O último periélio que Saturno alcançou verificou-se em 1974. O período orbital do planeta em volta do Sol é de 29 anos e 167 dias, enquanto seu período sinódico é de 378 dias, de maneira que as oposições sucessivas são menos do que quinze dias mais tarde a cada ano. O período de rotação de Saturno sobre o seu eixo é rápido, cerca de 10 horas e 15 minutos, com variações do equador para os pólos e, assim, também é achatado acentuadamente nos pólos, até mesmo mais do que Júpiter. O diâmetro polar de Saturno é de cerca de 107 mil quilômetros, enquanto seu diâmetro equatorial é de cerca de 120 mil quilômetros.

Planeta Saturno

(À esquerda) De Saturno, o Sol seria visto como uma estrela muito brilhante

(À direita) A mancha branca de Hay em Saturno

O volume do planeta é suficiente para conter 740 Terras, mas sua massa é de apenas 95 vezes a da Terra e, assim, sua densidade é muito baixa, 0,7 vezes menor do que a da água. A gravidade na superfície (supondo-se que fosse possível pousar sobre sua superfície) é apenas pouco maior do que a da Terra, já que este valor depende da massa de um planeta, mas decresce com o diâmetro do planeta.

A aparência geral do disco do planeta é semelhante à de Júpiter, mas as faixas de nuvens são em menor número e menos proeminentes. As faixas mais visíveis são as equatoriais, norte e sul, a última aparecendo em dobro, muitas vezes, mas com poucos detalhes podendo ser observados nelas, mesmo com grandes telescópios. As manchas são raras e não existe coisa alguma que possa ser comparada com a Grande Mancha Vermelha de Júpiter. A última mancha proeminente a ser vista foi uma branca na zona equatorial, descoberta em 1933 pelo amador W. T. Hay. Era suficientemente conspícua para ser vista por meio de um refrator de 7,5 centímetros, mas depressa se dissipou e desapareceu. Outra mancha começou a se desenvolver em 1962, mas esta não se tornou verdadeiramente proeminente.

A temperatura de Saturno gira em volta de -180°C. Em razão de ser ela inferior à de Júpiter, mais amônia se congelou fora da atmosfera de Saturno do que no caso de Júpiter e, assim, os resultados espectroscópicos mostram uma proporção maior de metano

As noções que os primeiros astrônomos tinham de Saturno antes de Huyghens estabelecer, em 1659, que Saturno tinha um sistema de anéis

na atmosfera do planeta. Parece provável que Saturno seja semelhante a Júpiter na sua estrutura geral, sendo composto, principalmente, de hidrogênio. No modelo de Wildt, o núcleo metálico rochoso tem cerca de 45 mil quilômetros de diâmetro, coberto por uma camada de gelo de cerca de 13 mil quilômetros, sobre a qual se encontra uma atmosfera com a espessura de cerca de 26 mil quilômetros. O esquema de Ramsey atribui a Saturno um núcleo de hidrogênio metálico com cerca de 40 mil quilômetros de diâmetro, coberto por 13 mil quilômetros de hidrogênio sólido e a atmosfera.

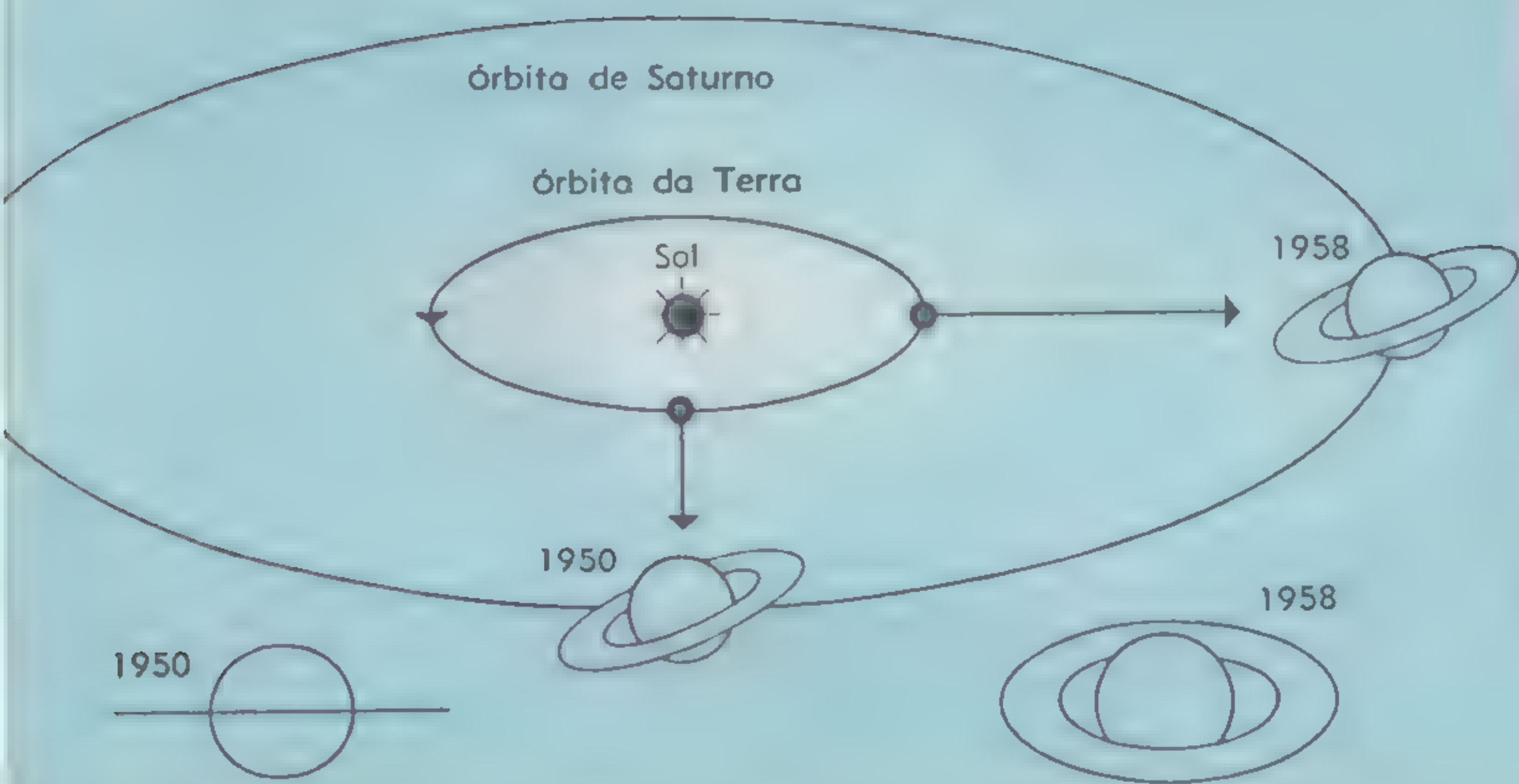
Os anéis são, é claro, a característica mais notável do planeta, tendo constituído uma fonte de grande surpresa para os primeiros observadores, incluindo Galileu. Seu telescópio não era suficientemente poderoso para mostrar sua verdadeira natureza e Galileu pensou que Saturno tinha dois corpos anexos, um de cada lado. Como a aparência dos anéis varia em ciclos, Galileu ficou muito confuso ao verificar que esses "anexos" haviam desaparecido, aparentemente, depois de suas observações originais. A existência do sistema de anéis foi reconhecida, finalmente, por Huyghens, em 1659, com o auxílio de um telescópio melhor.

O sistema de anéis consiste em três anéis concêntricos que não tocam o planeta em ponto algum. O anel mais exterior, Anel A, tem cerca de 16 mil quilômetros de largura; o Anel B, o mais brilhante dos três, tem cerca de 26 mil quilômetros; o Anel C,

Os anéis de Saturno

conhecido pelo nome de Anel de Crepe, o que tem menos brilho, também tem 16 mil quilômetros de largura. O Anel de Crepe é tão tênue que o globo do planeta pode, por vezes, ser visto através dele. Entre o Anel C e o corpo do planeta, há um espaço vazio com cerca de 14.500 quilômetros, dentro do qual a Terra caberia, deixando ainda muito espaço de sobra. Entre o Anel A e o Anel B, há um espaço de cerca de 2.700 quilômetros que foi descoberto em 1675 por Cassini e é conhecido pelo nome de Divisão de Cassini. Sob boas condições, a Divisão de Cassini pode ser observada com um refrator de 7,5 centímetros.

O diâmetro total do sistema de anéis é cerca de 272 mil quilômetros, mas sua espessura não é mais, provavelmente, do que cerca de 16 quilômetros. Os anéis, por certo, não são sólidos. Se o fossem, já teriam sido quebrados pela força de gravidade do planeta. Parecem ser constituidos por miríades de pequenas partículas que são minúsculos pedaços de gelo ou, então, partículas sólidas que se encontram cobertas por gelo.

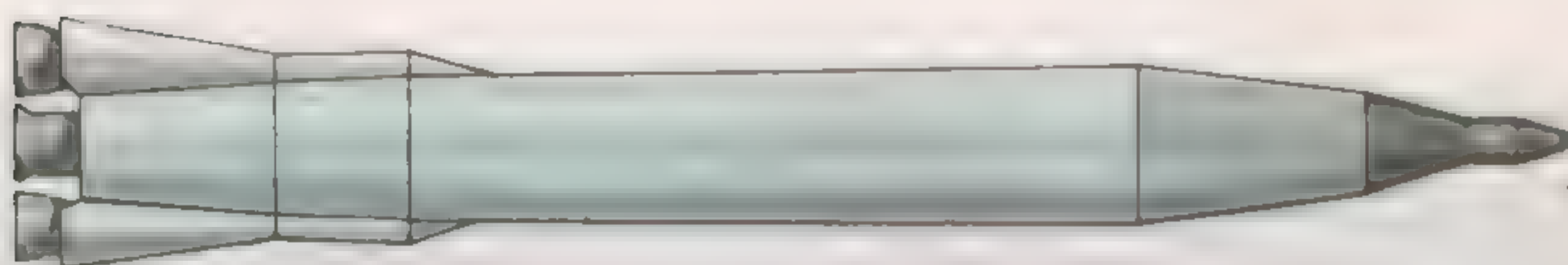
Os anéis estão dispostos no mesmo plano do equador de Saturno e a inclinação axial do planeta é de 26,7 graus. Assim, é fácil verificar que, num ponto de sua órbita, a face sul dos anéis é exposta, enquanto, meia órbita mais tarde, a face norte é a que será mostrada. A meio caminho entre esses pontos, os anéis estarão de perfil para nós, mostrando-nos suas bordas. Os anéis, deste modo,

Aspectos variáveis dos anéis de Saturno.
As ilustrações acima mostram como
eles são vistos da Terra em dois
pontos na órbita de Saturno

variam em aparência, desde completamente abertos, do nosso ponto de vista, até ficarem de perfil, quando parecem desaparecer em todos os telescópios, exceto os maiores, em virtude de serem muito estreitos. Os anéis mostraram-nos seus perfis anteriormente em 1966 e, depois, foi a face sul que estava voltada para nós. Estiveram de novo completamente abertos, dando-nos uma visão total, em 1973/74 e, outra vez de perfil estarão em 1979/80. Naturalmente, o brilho do planeta depende do ângulo em que se encontram os anéis.

Saturno tem uma verdadeira coleção de luas, dez ao todo, com a mais recentemente descoberta sendo Janus, que foi encontrada por Dollfus em 1966. Janus viaja em volta de Saturno num período de apenas 18 horas, a uma distância de cerca de 22.500 quilômetros fora do Anel A. Sua descoberta foi facilitada pelo fato de estar muito perto dos anéis, que estavam de perfil e, nesse momento, sendo estudados intensivamente. Das outras luas de Saturno, a maior é Titã, com um diâmetro de quase 5 mil quilômetros. É fácil de ver com um telescópio pequeno e foi descoberta por Huyghens em 1655. As outras luas são mais pálidas, mas várias delas podem ser vistas por telescópios médios. Iapetus, outra das luas de Saturno, é notável pelo seu brilho variável. As divisões

nos anéis são devidas aos efeitos perturbadores dos satélites sobre as partículas que constituem esses anéis.

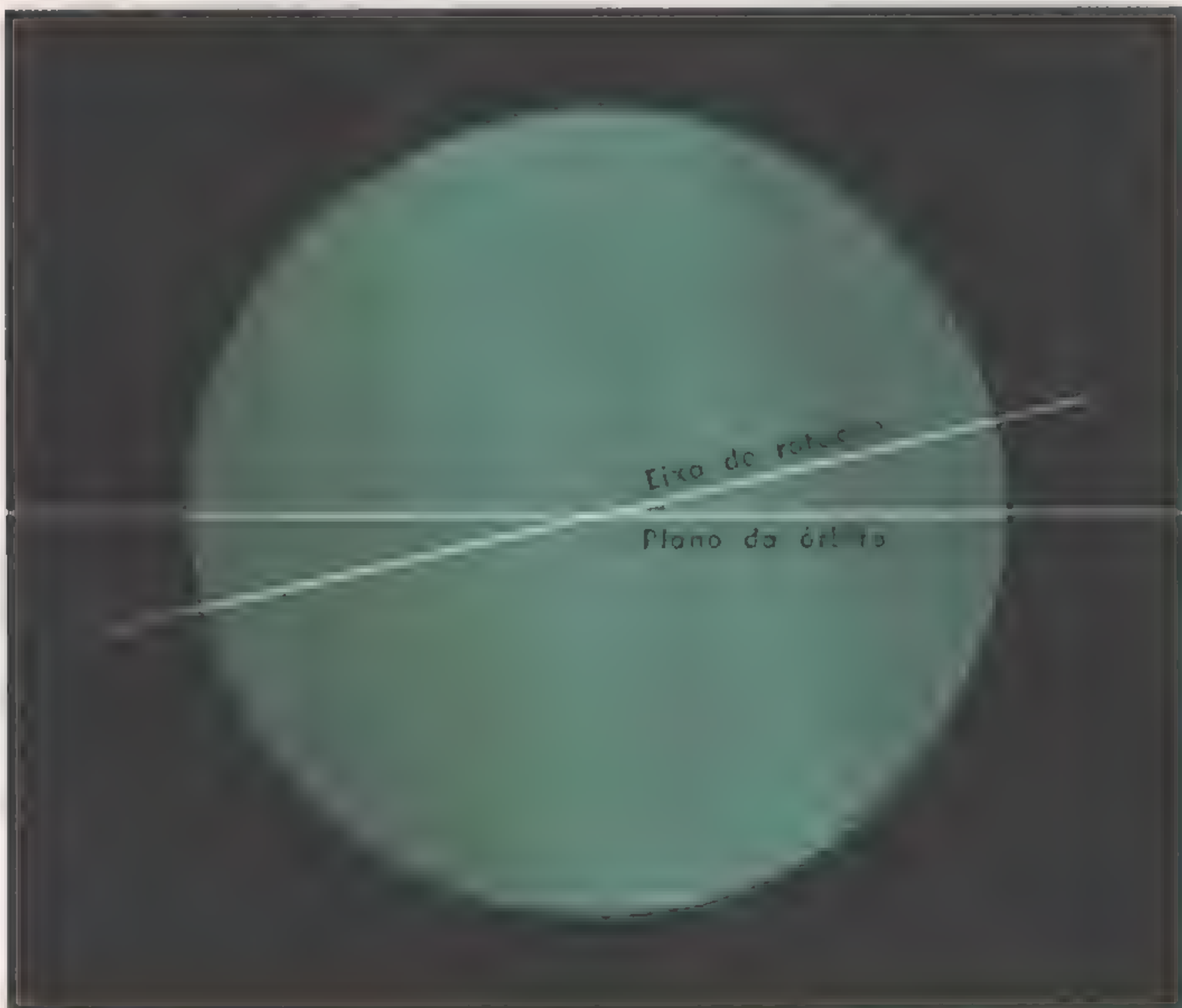
Haverá vida nos planetas exteriores? Não há a menor possibilidade de qualquer vida baseada em nossos padrões, mas não é totalmente inconcebível que possa haver outro tipo de vida (Página 132). A resposta terá de aguardar a exploração dos planetas exteriores por naves espaciais. Atualmente, já temos a capacidade de enviar sondas espaciais a Júpiter e a Saturno, mas não é provável que lhes possamos enviar naves tripuladas por cosmonautas durante ainda algumas décadas. Uma tal viagem levaria muitos anos.

Seria necessário um foguete tão longo quanto o maior transatlântico, para enviar uma nave espacial tripulada a Saturno com os combustíveis hoje conhecidos

BORDA DO SISTEMA SOLAR

Para lá de Saturno, encontra-se a zona crepuscular do sistema solar, onde o Sol parece muito menor e muito mais pálido do que como o vemos, e onde estão os últimos três conhecidos membros do sistema solar, todos eles descobertos através de telescópio. Esses planetas são, em ordem de distância do Sol, Urano (pai de Saturno), Netuno (o deus do mar) e Plutão (o deus das profundezas).

Urano

Durante toda a história registrada, só se conheciam cinco planetas e ninguém pensara seriamente que houvesse mais, além da órbita de Saturno. Mesmo depois do advento do telescópio, esta opinião persistiu durante algum tempo. Todavia, em 1781, William Herschel, então um astrônomo amador e fabricante de telescópios,

Planeta Urano

As inclinações axiais dos planetas

que, na realidade, ganhava a vida como músico, estava realizando estudos sistemáticos das estrelas quando observou, conforme ele disse, "uma estrela que parecia visivelmente maior do que as outras", e pensou tratar-se de um cometa. Depressa se tornou evidente, contudo, que não era um cometa, mas sim um novo planeta, movendo-se muito além da órbita de Saturno. A descoberta do planeta, a que Bode deu o nome de Urano, tomou o mundo científico completamente de surpresa e Herschel foi grandemente honrado, tendo sido nomeado Astrônomo do Rei. O planeta, na verdade, já fora observado antes, em várias ocasiões, mas fora tomado sempre por uma estrela comum.

Urano está imensamente afastado do Sol, com sua distância média de 2.878 milhões de quilômetros, e com sua excentricidade orbital de 0,44 dando uma distância, no periélio, de 2.743 milhões de quilômetros e, no afélio, uma distância de 3.010 milhões de quilômetros. O planeta encontrou-se no periélio em 1967 e, agora, está afastando-se do Sol, para o afélio, onde chegará no ano 2011. Urano tem um período orbital de não menos de 84 anos.

Uma das características mais peculiares de Urano é a inclinação de seu eixo de rotação. A maioria dos planetas têm seu eixo quase vertical em relação ao plano de suas órbitas. O eixo de Júpiter tem uma inclinação de apenas 3º, enquanto o da Terra

encontra-se num ângulo de 23,5°. O eixo de Urano, entretanto, está inclinado num ângulo de, pelo menos, 98° e, assim, sua rotação pode ser considerada retrógrada (isto é, de leste para oeste). Por vezes, assim, vemos Urano pelo lado do pólo e, outras vezes, é seu equador que nos é mostrado.

Apesar de não ser, de modo algum, tão grande quanto Júpiter, Urano ainda é um enorme planeta com um diâmetro equatorial de cerca de 46.500 km e um diâmetro polar de cerca de 2.500 km menor. Isto parece implicar que Urano tem uma estrutura semelhante à de Júpiter e Saturno – e, na realidade, seu período de rotação é semelhante, perto de 10 horas e 50 minutos. A temperatura é tão baixa (-210°C) que quase toda a sua amônia atmosférica está congelada e, assim, é o metano que se mostra predominante. O hidrogênio pareceria de novo, aqui, ser o componente principal. O modelo de Wildt apresenta Urano com um núcleo sólido com um diâmetro de cerca de 22.500 km, uma camada de gelo de 9.600 km e uma atmosfera de 4.800 km.

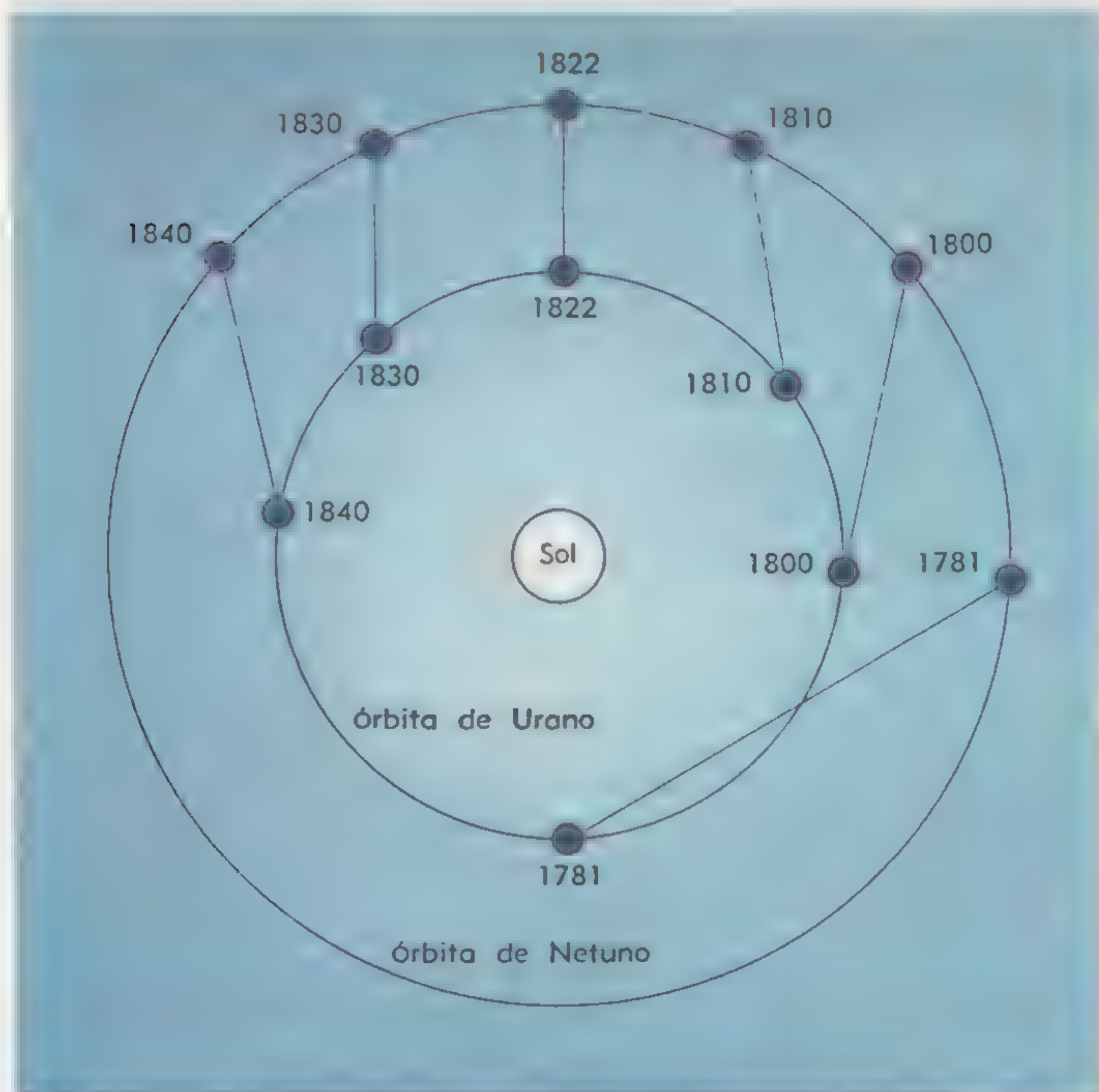
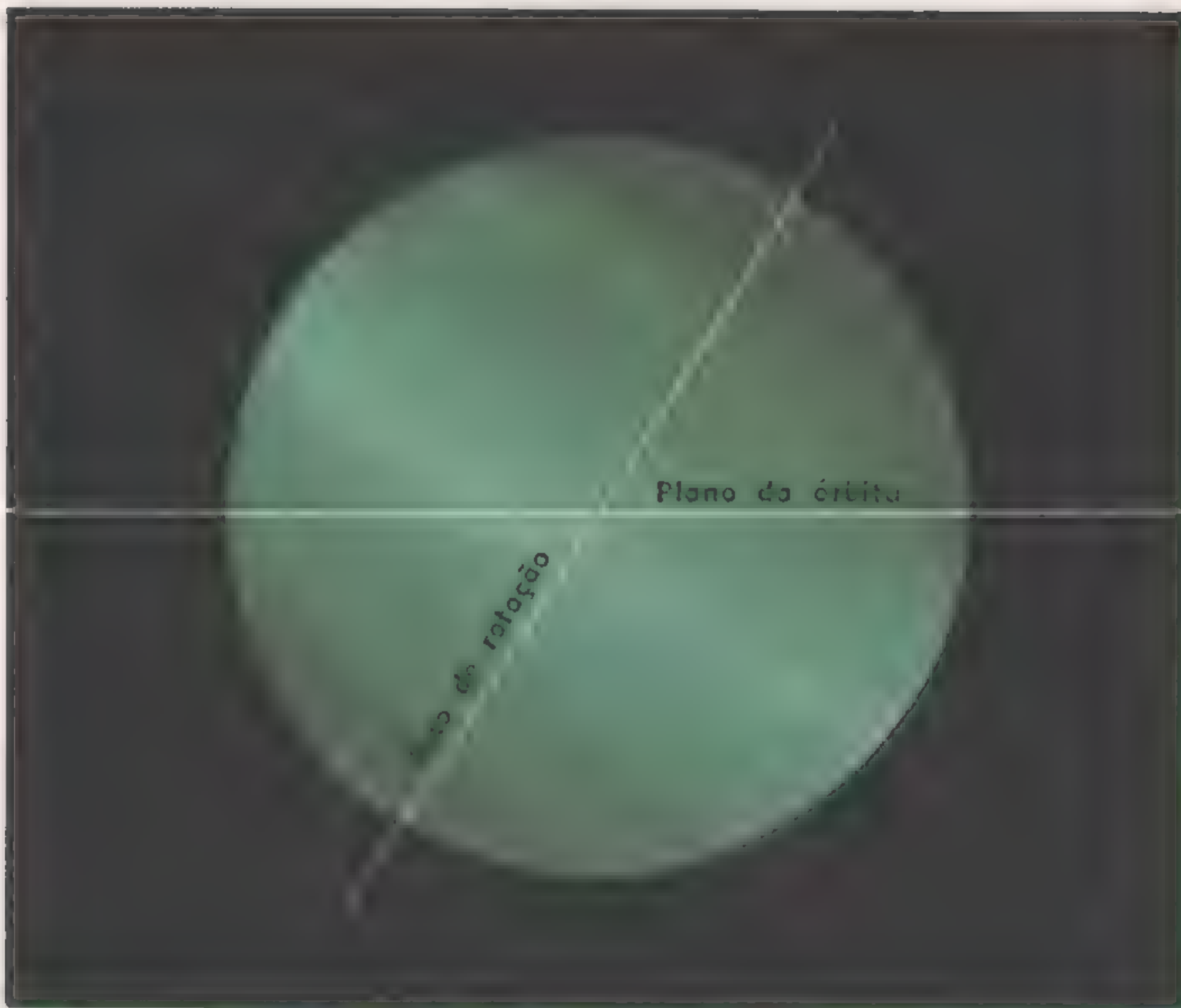
Urano tem uma família de cinco satélites, dois dos quais, Titânia e Oberon, foram descobertos por Herschell. O amador inglês Lassell encontrou mais dois, Ariel e Umbriel, em 1951, enquanto o pálido satélite Miranda foi descoberto por Kuiper, nos Estados Unidos, em 1948. As dimensões destas luas vão de 320 a cerca de 3.000 km e suas distâncias do planeta de 121.600 a 582.000 km. Como elas têm suas órbitas no plano do equador do planeta, essas órbitas parecem quase circulares quando o planeta está com o pólo voltado para nós e quase verticais, quando seu equador nos é apresentado.

Netuno

Pouco depois de sua descoberta, tornou-se aparente que Urano não estava se comportando muito bem. Usando antigas observações feitas antes de o astro ser reconhecido como um planeta, deveria ser possível calcular uma órbita exata, mas o planeta recusava-se a seguir seu curso previsto. Até 1822, parecia mover-se demasiado rapidamente, enquanto, mais tarde, ao contrário, atrasava-se. Começou parecendo que algum corpo desconhecido estava perturbando Urano e, em 1843, um jovem matemático inglês, John Couch Adams, dedicou-se a estudar o problema. Em 1845, já calculara a massa e a posição do corpo planetário proposto e enviou seus resultados para G. Airy, o Astrônomo Real da época, que, entretanto, não tomou qualquer medida.

(Ao lado, à direita)
Netuno foi descoberto por meio de cálculos baseados na perturbação da órbita de Urano

As luas de Urano descrevem suas órbitas no plano do equador do planeta e, assim, suas órbitas parecem circulares quando o planeta está com o pólo voltado para a Terra

1822
1830
1810
1840
1800
1822
1830
1810
1840
Sol
1800
1781
órbita de Urano
1781
órbita de Netuno

Planeta Netuno, apresentando
faixas de nuvens

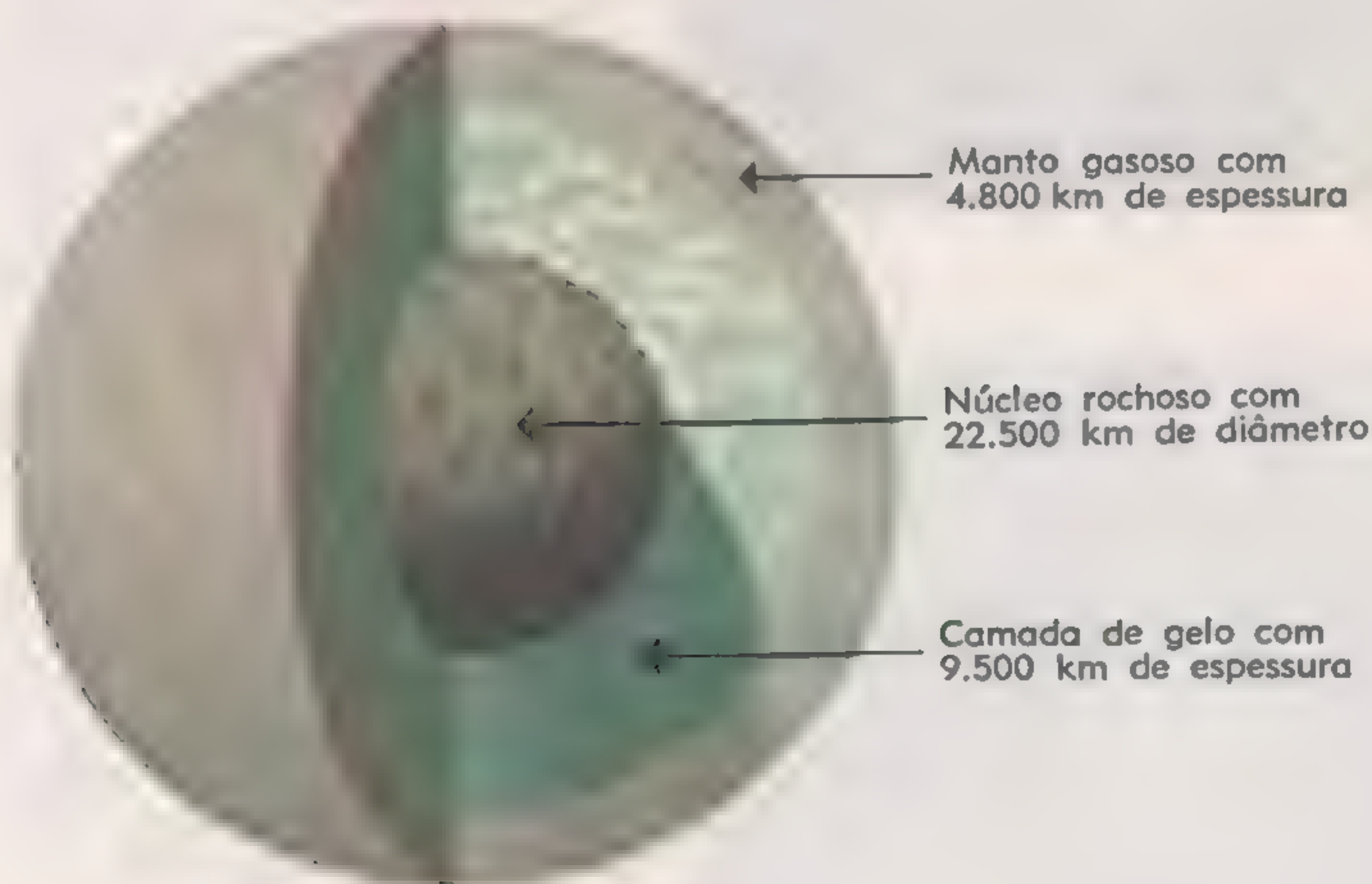
Nesse ínterim, na França, Urbain Le Verrier iniciara um cálculo semelhante e obteve resultados muito parecidos com os valores de Adams, em 1846. Apesar de, então, Airy já ter instituído uma busca, o planeta foi encontrado por Galle e d'Arrest, em Berlim. Todavia, a honra da previsão deve ser dividida entre Le Verrier e Adams.

A descoberta deste planeta, chamado Netuno, a apenas um grau de sua posição prevista foi uma confirmação importante das leis de gravitação e da dinâmica de Newton, bem como um grande triunfo pessoal para os homens em questão. Netuno encontra-se a 4.505 milhões de quilômetros do Sol, em média, e move-se em sua volta numa órbita de baixa excentricidade (0,007) num período de 164 anos e 9 meses. Dessa distância, o diâmetro aparente do Sol é trinta vezes menor do que parece ser da Terra e, assim, o disco do Sol, em Netuno, mal poderia ser visto a olho nu. O brilho aparente total do Sol seria apenas um milésimo do brilho que nós vemos.

Netuno é semelhante, em tamanho, a Urano, tendo um diâmetro

equatorial de 44.322 km, porém de ambos é o que tem mais massa, que é 17 vezes maior que a da Terra, enquanto Urano, por seu lado, tem 15 vezes a massa da Terra. A densidade de Netuno é 2,2 vezes a da água e, desse modo, é o mais denso dos quatro planetas do tipo de Júpiter. Devido a isto, é muito menos achatado nos pólos do que os outros, embora seu período de rotação também seja bastante curto, cerca de 14 horas. Este período pode ser inexato, já que pouco pode ser visto do disco do planeta.

A temperatura predominante em Netuno é ainda mais baixa do que a de Urano, com um valor de -230ºC que lhe foi calculado. As nuvens de Netuno parecem ser compostas em grande parte por metano, desta vez sem vestígios detectáveis de amônia. A estrutura do planeta é, certamente, semelhante à dos outros planetas do tipo de Júpiter e Wildt elaborou um modelo em que Netuno tem um núcleo rochoso de cerca de 22.500 km, uma camada de gelo com 9.500 km e uma camada de gás com 4.800 km. Ramsey supõe, como no caso de Urano, que o hidrogênio é o seu principal componente.

Pelo que sabemos, Netuno tem apenas 2 satéiltes. O primeiro destes é Tritão, descoberto algumas semanas depois do próprio planeta e com um diâmetro de cerca de 5.000 km, um dos maiores satélites no sistema solar. Move-se numa órbita retrograda, quase circular. A outra lua, Nereida, tem uma órbita extremamente excêntrica.

Modelo de Netuno, segundo Wildt

Plutão

Durante cerca de cinqüenta anos, pensou-se que a descoberta de Netuno já explicara totalmente os movimentos erráticos de Urano. Todavia, outras discrepâncias menores foram surgindo. Percival Lowell decidiu que talvez houvesse mais outro planeta causando essas variações de menor importância, um planeta ainda mais remoto do que Netuno. Assim, iniciou cálculos do tipo Adams-Le Verrier para encontrar o tal astro. Sua previsão era de que o "Planeta X" deveria ter uma massa cerca de seis vezes a da Terra e mover-se em volta do Sol a uma distância de perto de 6,5 bilhões de quilômetros, num período de 282 anos.

Lowell procurou durante muitos anos, mas só em 1930, 14 anos depois de sua morte, é que o nono planeta foi encontrado por Clyde Tombaugh no Observatório Lowell. Plutão, como ele foi chamado, era mais pálido do que se esperara, mas os cálculos realizados não pareciam muito errados. A distância média do Sol é de 6.084 milhões de quilômetros e seu período orbital é de 248 anos.

Todavia, depressa se tornou evidente que Plutão era muito menor do que se pensava – os cálculos atuais revelam um diâmetro de cerca de 5.000 km – e, a não ser que fosse improvavelmente denso, não poderia ter produzido as notadas perturbações de Urano. Outra de

Plutão foi descoberto por meio de uma comparação de fotografias feitas com 3 dias de intervalo

As órbitas dos três planetas exteriores

Lowell sentado diante de seu telescópio

suas características estranhas é a grande excentricidade (0,248) de sua órbita, que faz com que o curso de Plutão atravesse o de Netuno, de modo que, durante parte de sua órbita, perto do periélio, não é, na realidade, o planeta mais exterior. Seu periélio será alcançado, da próxima vez, em 1989.

A provável pequena massa de Plutão levantou dúvidas sobre o fato de ser o único corpo responsável pelas perturbações sofridas por Urano e levou alguns astrônomos a sugerirem que talvez haja um décimo planeta aguardando ser descoberto. Se assim é, deve ser muito pálido, mas é possível que venha a ser encontrado.

Viajar para tão longe quanto Netuno ou Plutão está, por certo, fora de nossas possibilidades, de momento, no que se refere a naves espaciais tripuladas, sendo provável que assim seja durante ainda muito tempo. Uma viagem para Plutão e de regresso à Terra levaria muitas décadas. De Plutão, a Terra seria quase invisível, mesmo com o auxílio de um telescópio.

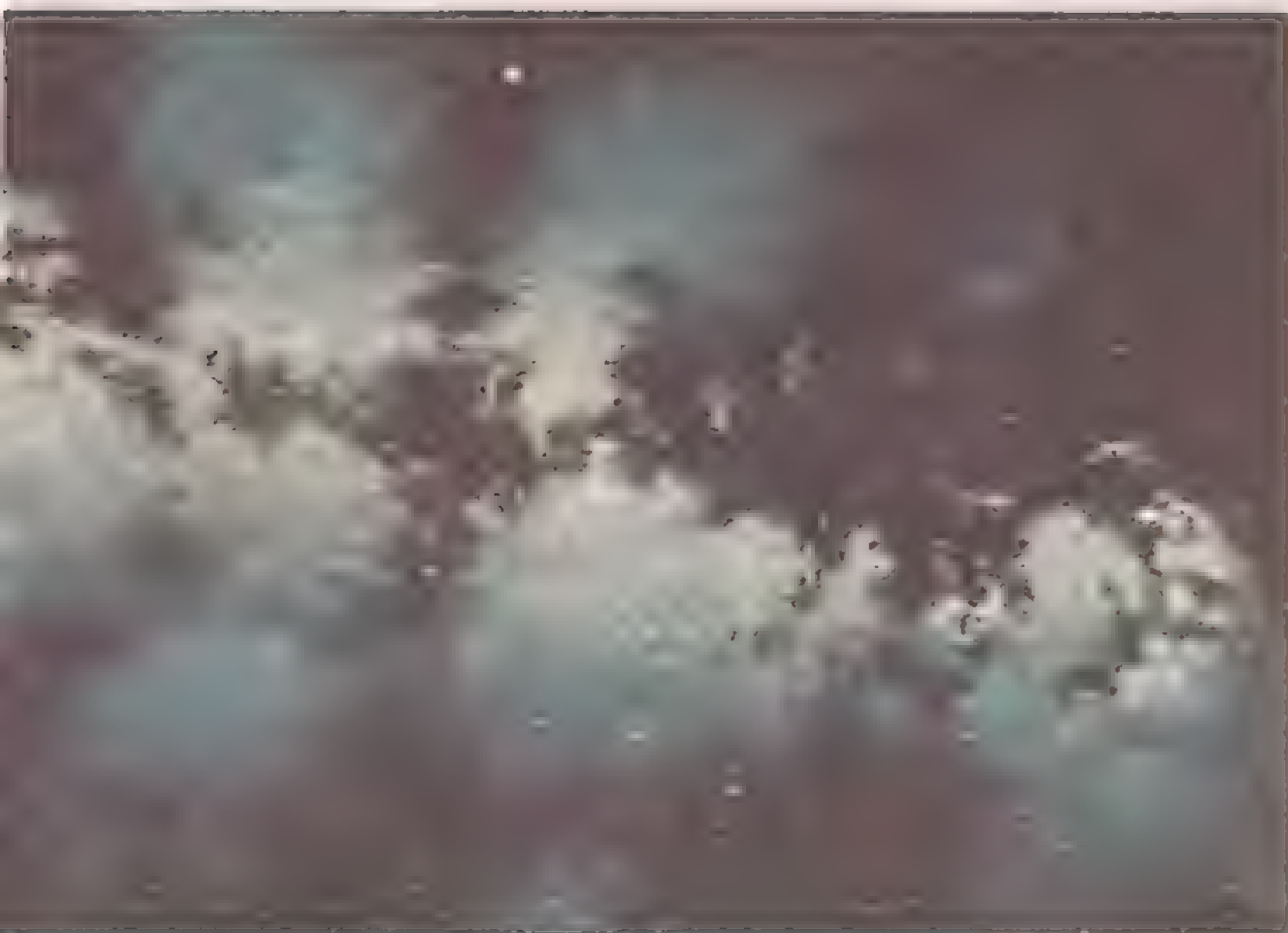
Dados planetários

Planeta	*Distância média do Sol, em milhões de quilômetros*	*Período sideral*	*Período sinódico*
Mercúrio	58	88 dias	115 dias
Vênus	107	224,7 dias	584 dias
Terra	150	365 dias	—
Marte	227	687 dias	780 dias
Júpiter	772	11 ¾ anos	399 dias
Saturno	1.418	29 ½ anos	378 dias
Urano	2.878	84 anos	370 dias
Netuno	4.505	164 ¾ anos	367 ½ dias
Plutão	6.084	247 ¾ anos	366 ¾ dias

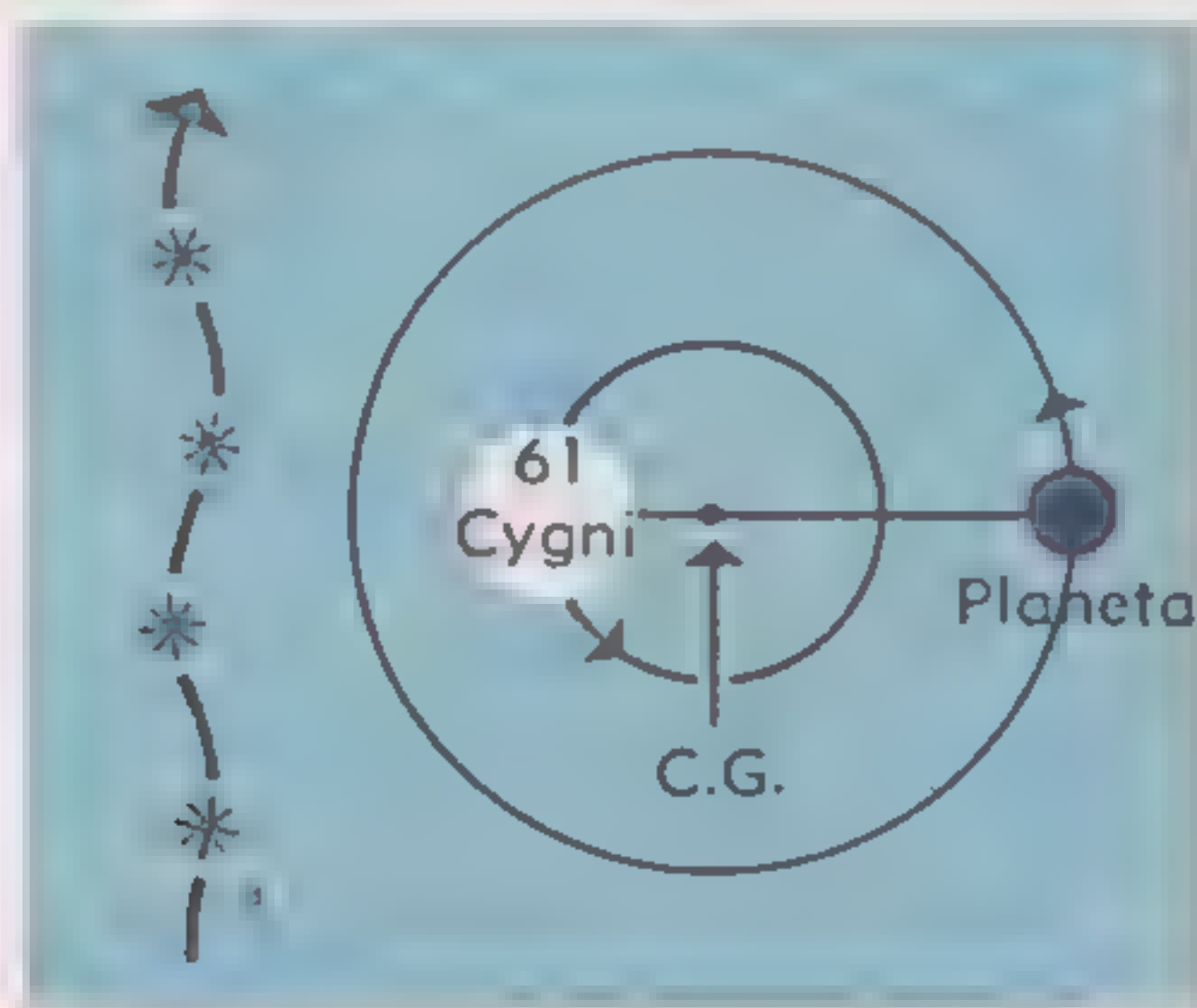
Rotação axial	*Diâmetro (equatorial) em quilômetros*	*Magnitude no máximo brilho*	*Temperatura máxima de superfície* (em graus centígrados)
59 dias	4.700	– 1,9	400°
243 dias	12.320	– 4,4	350°
23 h 56 m	12.690	–	60°
24 h 37 m	6.800	– 2,8	25°
9¾ horas	141.930	– 2,5	– 140°
10¼ horas	120.000	– 0,4	– 160°
10¾ horas	46.500	+ 5,6	– 210°
15¾ horas	44.320	+ 7,7	– 230°
6 dias e 9 horas	5.760?	+ 13	?

PLANETAS DE OUTROS SÓIS

Será que há outros planetas no universo, que nosso sistema solar é um caso singular, que o nosso Sol é o único a ter um tal séqüito? Se compreendêssemos totalmente como é que o sistema solar foi formado, teríamos mais facilidade, com certeza, em responder a essas perguntas. O que sabemos é que o Sol é uma estrela muito comum. É apenas uma de cerca de cem bilhões de estrelas na nossa galáxia e, com telescópios poderosos, podemos ver bilhões de galáxias. Assim, o universo que vemos contém algo como cem quinquilhões de estrelas. Poderá o Sol ser a única estrela entre todas essas que possui um sistema planetário?

Jeans (página 16) propôs que o sistema solar foi produzido por um acidente feliz, quando outra estrela passou perto do Sol, e pensou que, como as outras estrelas estão tão distantes umas das outras, nada dessa natureza ocorreu em qualquer outro ponto – dentro de nossa galáxia, pelo menos. A teoria de Jeans já foi abandonada, mas a de Woolfson é semelhante. Todavia, já sabemos, agora, que as estrelas tendem a se formar em grupos relativamente compactos e, assim, haveria uma possibilidade definida de tais interações. Outras teorias existentes explicam que os sistemas planetários tendem a se formar naturalmente com qualquer estrela e, desse modo, os planetas que acompanham as estrelas poderiam ser a regra, em vez de exceção. Assim, é possível que haja bilhões de planetas na Galáxia e, mesmo que a teoria de

Woolfson fosse correta, deveria haver dezenas ou centenas de milhares.

Todavia, mesmo que esse fosse o caso, seria completamente impossível observar tais planetas diretamente, por meio de telescópios, pois eles seriam demasiado pequenos e pálidos. Devemos recordar que a estrela mais próxima se encontra a 4 anos-luz de distância. Contudo, há uma possibilidade de detecção desses planetas. Tal como a Terra e a Lua se movem em volta do baricentro (página 68), uma estrela e seus companheiros planetários também

O movimento oscilante de 61 Cygni indica a presença de um planeta

Possível tamanho do planeta 61 Cygni, comparado com Júpiter

se moveriam em volta do seu centro comum de gravidade. Se o planeta em questão tivesse suficiente massa, o movimento em volta de seu centro de gravidade apareceria como uma oscilação no movimento da estrela. Em 1944, foi descoberto que o mais pálido componente da estrela 61 Cygni faz exatamente isso.

A estrela 61 Cygni, assim chamada pelo fato de se encontrar na constelação do Cisne e ter o número 61 no catálogo de estrelas de Flamsteed, é visível a olho nu e, em 1838, foi a primeira estrela a ter sua distância medida com grande precisão. Encontra-se a uma distância de 11 anos-luz e é uma estrela dupla na qual seus componentes, ambos mais pálidos do que o Sol, se encontram bastante distantes um do outro. O mais pálido dos componentes, 61 Cygni B, apresenta um movimento de oscilação e, por meio de medições da extensão dessa oscilação, K. A. Strand deduziu que o corpo perturbador responsável devia ter uma massa cerca de quinze vezes maior do que a de Júpiter. Isto poderá parecer extremamente grande, considerando-se a massa, mas seria demasiado pequeno, para ser uma estrela de qualquer tipo. A menor estrela conhecida tem uma massa com mais de 150 vezes a de Júpiter. Assim, parece certo que aquilo que está perturbando 61 Cygni B é um corpo escuro sem luz própria; por outras palavras, um planeta.

Outro caso semelhante é o da estrela 70 Ophiuchi, também dupla. Não é bem certo em volta de qual dos componentes do par o corpo planetário gira. Se girar em volta do componente maior, então, sua massa deve ser pelo menos doze vezes a de Júpiter, enquanto, por outro lado, se girar em volta do componente menor, sua massa seria apenas oito vezes a de Júpiter.

Em muitos aspectos, o caso mais interessante é o da Estrela de

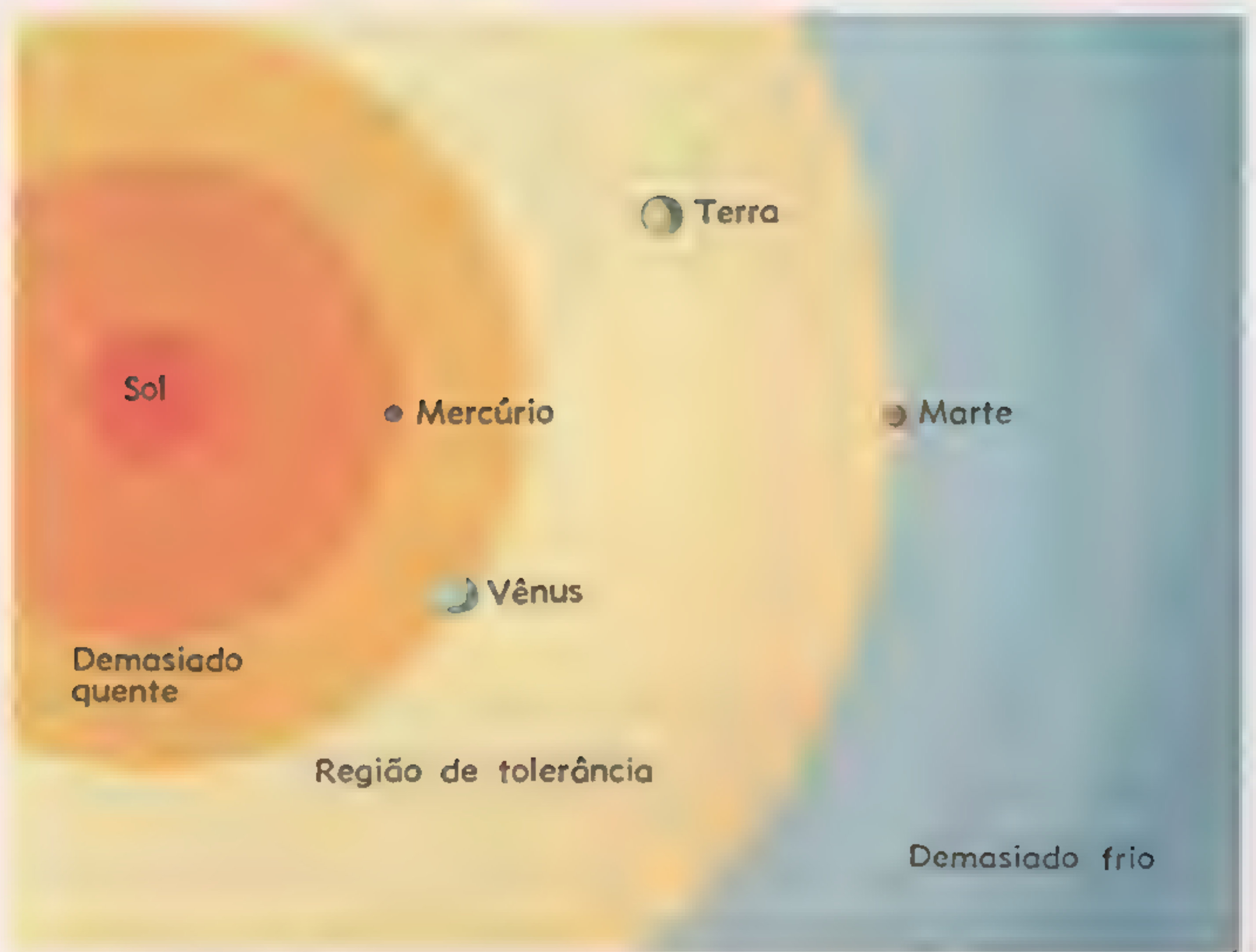
Barnard, que recebeu seu nome em honra do astrônomo que notou seu movimento rápido. A Estrela de Barnard encontra-se a apenas 6 anos-luz de distância e é bastante pequena segundo os padrões estelares. Seu companheiro, descoberto por van de Kamp em 1963, tem uma massa, segundo foi verificado, de 1,5 vezes a de Júpiter. Este corpo deve ser, com certeza, um planeta e, na realidade, gira em volta da Estrela de Barnard num período de 24 anos, duas vezes o período de Júpiter em volta do Sol. Apesar de não podermos detectar planetas menores do que esse, isso não

Visão de uma estrela gigante vermelha
de um planeta sem vida

significa que eles não existam. O mais provável é que cada um desses planetas gigantes seja um membro de um sistema contendo também planetas pequenos. Muitos desses planetas devem ser estranhos e hostis à nossa forma de vida, mas é possível que, algures, haja planetas mais adequados à vida como nós a conhecemos.

Haverá outra Terra?

Aquilo que mais interessa a muitas pessoas é a possibilidade de encontrar um planeta semelhante à Terra e existem muitas estórias de ficção científica que se têm desenvolvido em torno da possibilidade de haver um planeta no universo que seja uma réplica exata da Terra. Há um número excessivo de fatores para que isto seja uma possibilidade digna de consideração. O que é possível, sim, se os sistemas planetários forem tão comuns quanto parecem ser, é a existência de planetas em que as condições sejam semelhantes às condições da Terra e nos quais nossa forma de vida se poderia adaptar rapidamente. Se a vida conseguiu estabelecer-se em tais planetas, é possível que se tenha

Grupo de galáxias

Região de tolerância no
nosso sistema solar

desenvolvido de uma forma bastante parecida com a nossa própria vida.

Que tipo de condições são necessárias para que a vida como nós a conhecemos se desenvolva? Primeiramente, é claro, torna-se essencial haver um corpo planetário adequado. Havendo isto, será preciso, então, que duas condições vitais sejam satisfeitas. A temperatura não deverá ser nem muito elevada, nem muito baixa, já que o calor intenso desintegra as moléculas orgânicas e o frio severo impede que a atividade se desenvolva. A radiação excessiva de ondas curtas também perturba os organismos vivos. O outro pré-requisito é uma atmosfera adequada, suficientemente densa para proteger da radiação e dos meteoritos, contendo oxigênio e vapor de água em quantidades razoáveis.

Dentro do nosso próprio sistema solar, existe uma "região de tolerância" em que a quantidade de energia incidindo sobre uma área unitária da superfície do planeta seria tolerável até mesmo para a vida humana. Esta região estende-se aproximadamente da órbita de Vênus até à órbita de Marte e, se a Terra se encontrasse em órbita nessa região, a vida continuaria. Todavia, Marte e Vênus falham no segundo critério. A atmosfera de Vênus é totalmente hostil, demasiado quente e com uma pressão atmosférica demasiado elevada para que qualquer organismo terrestre pudesse

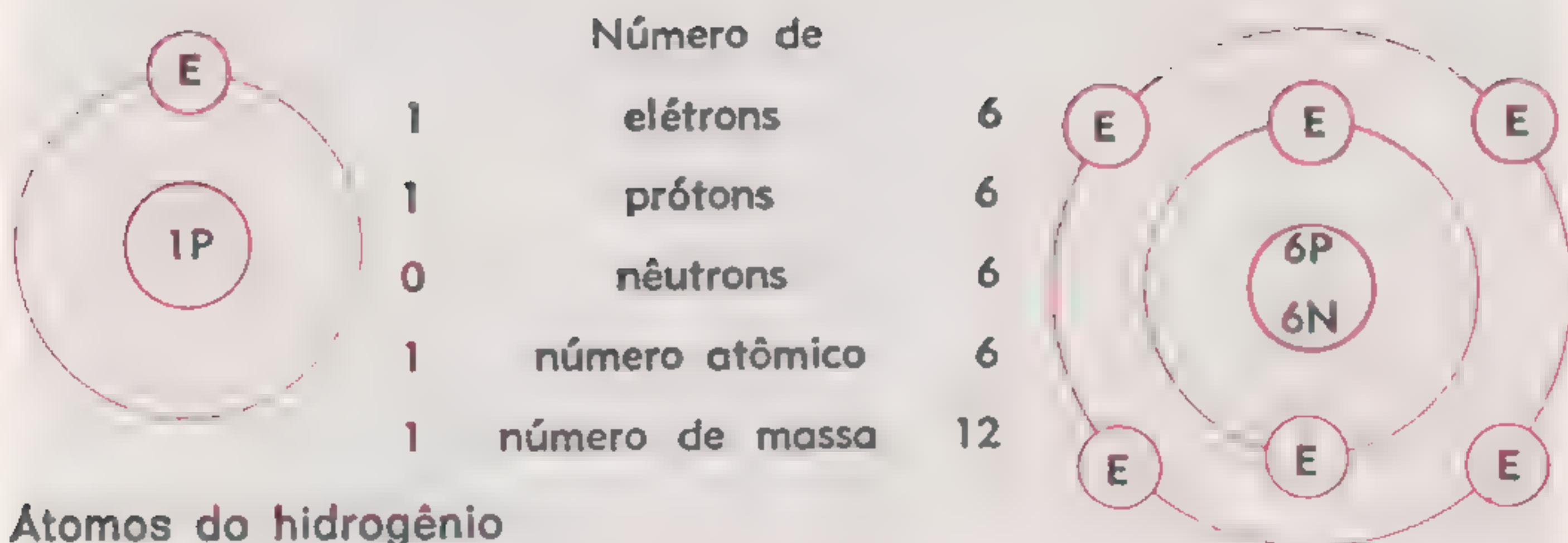
sobreviver. A atmosfera marciana é demasiado tênue, possuindo oxigênio e vapor de água insuficientes. Todavia, Marte não foge muito aos critérios, conforme já vimos e, também, é bem possível que algum tipo de vida se tenha desenvolvido nesse planeta. No nosso sistema solar, há, possivelmente, dois planetas capazes de conter vida; as possibilidades de haver outros na galáxia são, por certo, bastante elevadas.

Outras formas de vida?

Até aqui, só temos considerado a vida segundo os padrões da Terra, mas parece provável que a vida se possa desenvolver segundo outras linhas. Na realidade, há muitas pessoas que consideram que a vida se desenvolverá sempre que houver condições para isso.

Toda a matéria no universo é formada por 92 elementos básicos. Nossa forma de vida baseia-se no elemento carbono, que tem a propriedade de formar grupos muito complexos de átomos – ou moléculas – necessários à matéria orgânica. O átomo do carbono é, por sua vez, formado por uma combinação de três tipos de partículas menores, o próton, o nêutron e o elétron, e esta estrutura é que lhe dá suas propriedades. Na matéria viva, muitos outros elementos são combinados, mas a estrutura básica depende, contudo, do carbono.

Pelo que sabemos, o carbono é o mais eficiente elemento na sua capacidade de formar moléculas complexas e é quase certo que qualquer forma de vida que possamos encontrar em outros planetas será baseada no carbono, sendo, desse modo, basicamente semelhante em estrutura, se não em forma, a organismos terrestres. Todavia, o elemento silício também pode formar estruturas bastante complexas e não podemos deixar de lado a possibilidade de que, sob condições vigentes em algum planeta desconhecido, uma forma de vida tenha surgido com essa base. Outra possibilidade, embora deva ser enfatizado que toda essa idéia é mais especulação controlada do que previsão científica, é que uma forma de vida baseada no carbono seja capaz de existir em temperaturas muito baixas, num ambiente em que a água tenha sido substituída por amônia líquida. Em virtude das condições predominantes em Júpiter e em Saturno, esta é uma idéia interessante.

Tudo o que podemos dizer é que há, por certo, outros planetas no universo e que é muito provável que eles sejam em grande quantidade. É bastante certo, por conseguinte, que alguma forma de vida se tenha desenvolvido em alguns deles e que a vida inteligente também seja uma possibilidade, que seria absurdo ignorar.

Átomos do hidrogênio
(*à esquerda*) e do carbono

(*Em cima*) Pensa-se que a molécula do ADN consiste em duas cadeias de moléculas de açúcar e fosfato alternadas numa hélice dupla. Este modelo mostra uma cadeia dividindo-se e reorganizando-se para duplicar a molécula de ADN. (*À direita*) Uma bactéria simples. Tais organismos podem existir em outros planetas

(Em cima) Lançamento de uma missão Apolo à Lua

(À direita) Corte transversal do Módulo de Comando da Apolo. O assento central foi retirado

PROGRESSOS RECENTES E TENDÊNCIAS FUTURAS

Em setembro de 1968, a nave espacial soviética Zond 5, sem tripulação, voou em volta da Lua, regressando em condições de segurança à Terra e caindo no Oceano Índico. Esta notável proeza foi seguida em novembro pelo Zond 6, que também obteve sucesso. Mais tarde, foi revelado que o Zond continha criaturas vivas como pequenas tartarugas e que estas não tinham sofrido quaisquer danos durante a sua viagem de 800 mil quilômetros, além de uma ligeira perda de peso. Os vôos tripulados por seres humanos pareceram, então, tornar-se mais viáveis.

Entretanto, em outubro, os americanos realizaram, também com sucesso, um vôo orbital de dez dias, tripulado por homens, com sua Apolo 7, um protótipo da nave espacial que seria usada para os vôos lunares.

Em 21 de dezembro de 1968, tudo foi preparado, em Cabo Kennedy, para a primeira viagem do homem à Lua, a missão Apolo 8. A cápsula espacial com capacidade para três homens foi colocada no topo do imenso foguete Saturno 5, com cerca de 120 metros de comprimento, e era tripulada pelo Coronel Frank Borman, o Capitão James Lovell e o Major William Anders, com todo o mundo observando, numa emissão de televisão transmitida por satélite.

Às 7,51 horas da manhã, hora do teste, os cinco motores do primeiro estágio do Saturno 5 dispararam com sucesso, produzindo um empuxo total de 3.800.000 kg, para elevar a nave de 2.750 toneladas. O veículo espacial acelerou rapidamente até uma altitude de 160 quilômetros, soltando o primeiro e o segundo estágios no percurso e, então, entrou em órbita em volta da Terra a uma velocidade de cerca de 29 mil quilômetros por hora. Duas horas e quarenta minutos mais tarde, o terceiro estágio do foguete Saturno foi disparado durante um período de 5 minutos e meio, a fim de acelerar a nave até sua velocidade de escape de cerca de 38.750 quilômetros por hora e de apontá-la para a Lua.

O disparo foi tão exato que só foi preciso fazer uma pequena correção de curso durante o vôo de 380 mil quilômetros até a Lua. Durante a viagem, a tripulação transmitiu imagens diretas por televisão de paisagens jamais vistas pelo homem – a Terra vista do espaço.

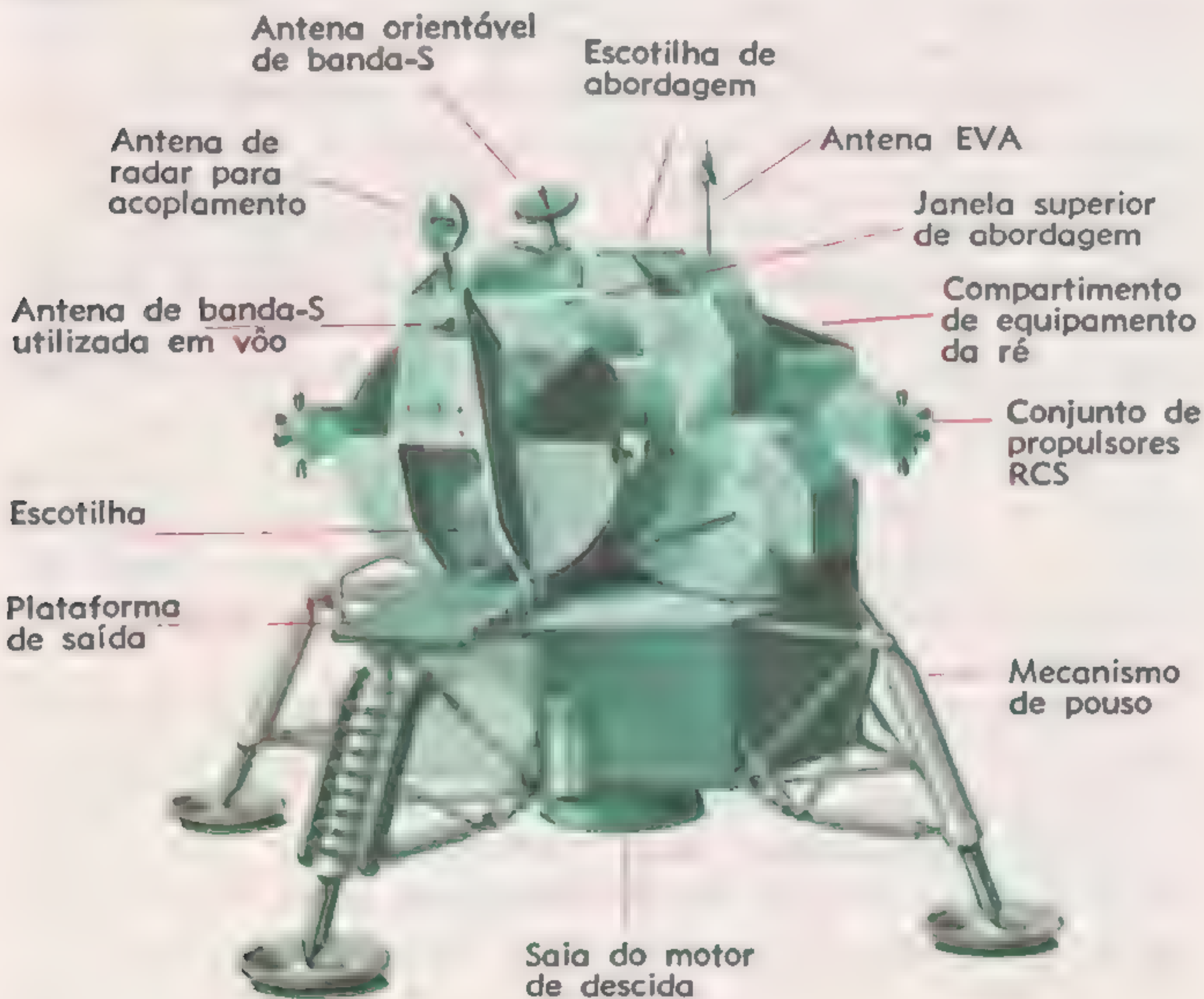
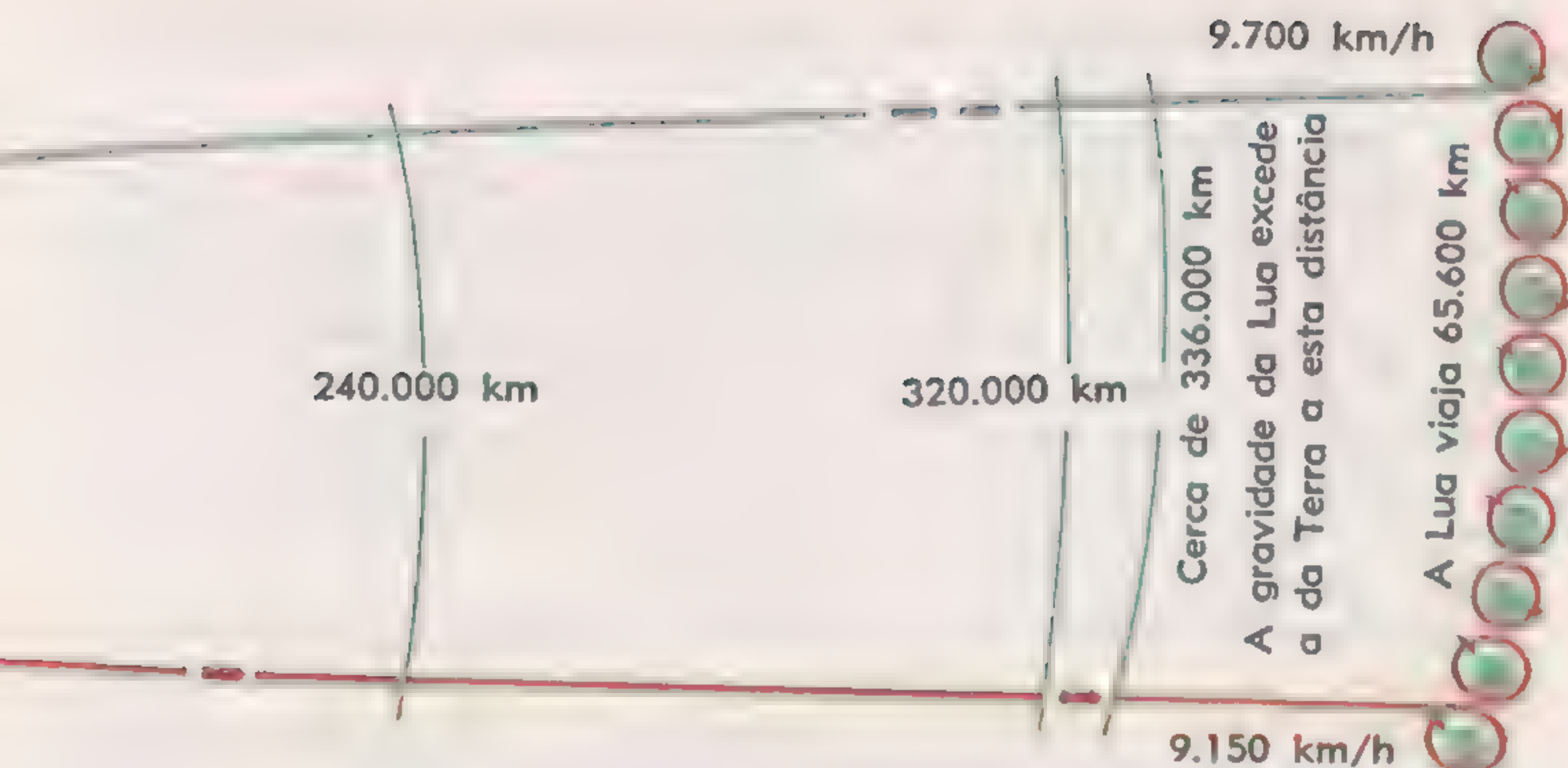
O seguinte ponto crucial ocorreu quando a Apolo 8 se aproximou da Lua. Devido ao efeito da força de atração da Terra, a nave foi diminuindo gradualmente de velocidade para se encontrar, falando relativamente, numa "velocidade baixa", até alcançar uma distância de cerca de 328 mil quilômetros, ponto em que a atração da Lua compensou exatamente a da Terra. Depois disso, a nave acelerou sob o efeito da gravidade da Lua até uma velocidade

Trajetória da missão *Apolo 8*

de 9.200 km/h. Quando a Apolo 8 passou pelo lado mais afastado da Lua, tornou-se necessário disparar o foguete para diminuir a velocidade da nave e colocá-la na velocidade orbital lunar, cerca de 5.800 km/h.

Um erro qualquer nesta fase teria sido fatal, mas a tripulação

Módulo Lunar

Antena orientável de banda-S
Escotilha de abordagem
Antena de radar para acoplamento
Antena EVA
Janela superior de abordagem
Antena de banda-S utilizada em vôo
Compartimento de equipamento da ré
Conjunto de propulsores RCS
Escotilha
Plataforma de saída
Mecanismo de pouso
Saia do motor de descida

manteve impecavelmente sua nave numa órbita elíptica em volta da Lua, indo de uma altitude de 118 até 160 km e, na terceira órbita, o curso foi alterado para uma órbita quase circular a uma altitude de 112 km. Borman, Anders e Lovell passaram, assim, a Noite de Natal descrevendo 10 órbitas em volta da Lua, fazendo valiosas fotografias coloridas e enviando para a Terra imagens espetaculares pela televisão. Um dos principais objetivos da expedição era efetuar um exame visual dos possíveis pontos para um futuro pouso na Lua e os astronautas pareceram particularmente impressionados por um local no *Mar da Tranqüilidade*.

Bem cedo, na manhã de Natal, a Apolo 8 passou por detrás da Lua pela décima vez e os motores do foguete foram disparados uma vez mais durante pouco mais de quatro minutos, a fim de acelerar a nave espacial além da velocidade de escape lunar e de iniciar a viagem de regresso à Terra.

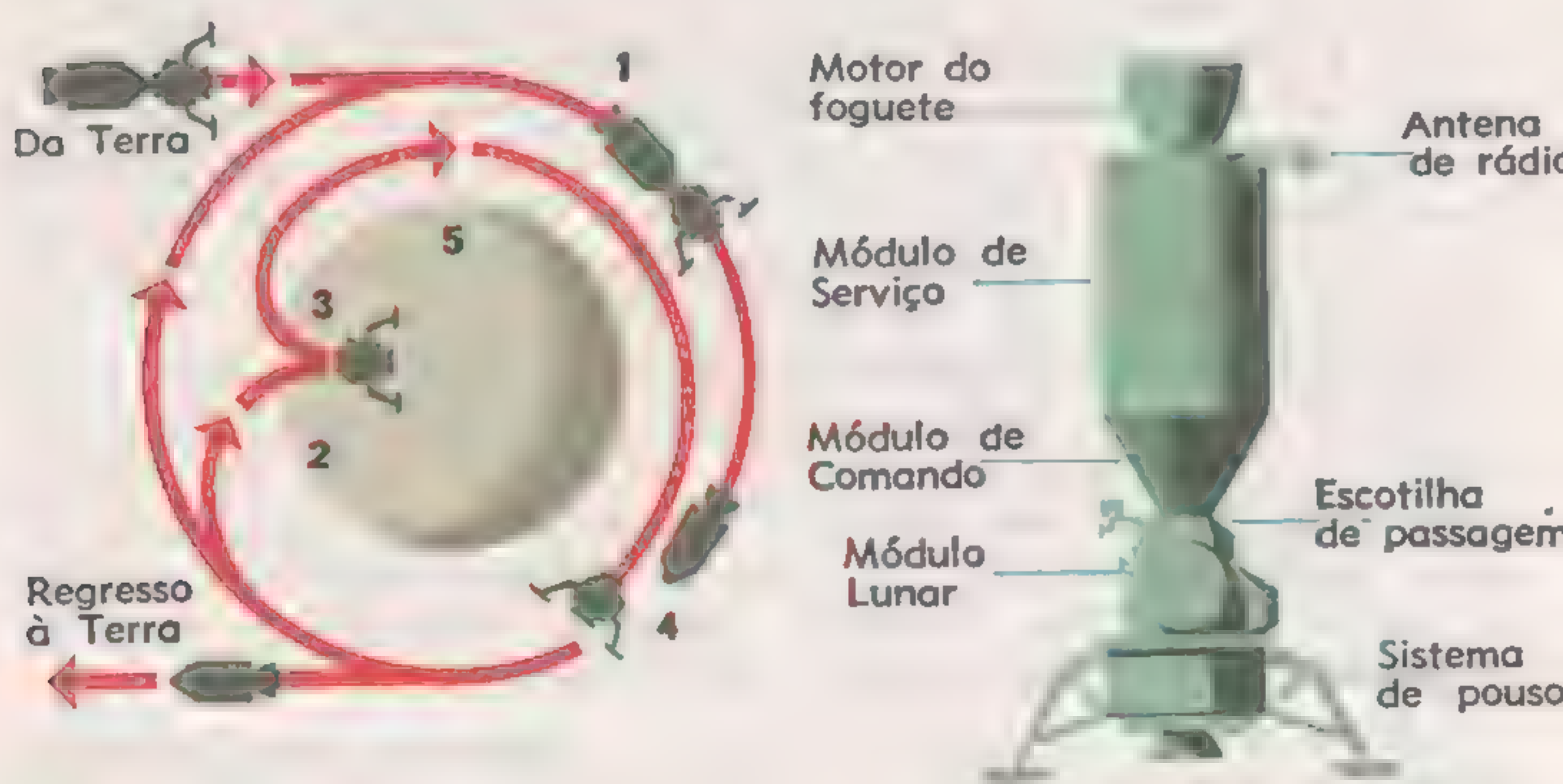
O único obstáculo que restava era o reingresso na atmosfera da Terra a uma velocidade um pouco abaixo de 40 mil quilômetros por hora, muito mais elevada do que a obtida por qualquer nave tripulada anterior. A nave espacial tinha de entrar na atmosfera num ângulo muito exato – uma entrada demasiado rasa faria com que a nave fosse lançada irrecuperavelmente para o espaço, enquanto, por outro lado, um ângulo demasiado inclinado faria que se queimasse completamente pelo atrito produzido. Seguindo a sua norma, a Apolo 8 conseguiu entrar na atmosfera de forma impecável. A temperatura no exterior da cápsula alcançou 2.800°C quando ela estava desacelerando. Com o auxílio de pára-quedas, a nave pousou suavemente, por fim, no Oceano Pacífico a apenas 8 km do porta-aviões *Yorktown*, depois de uma viagem total de quase 1 milhão de quilômetros em 147 horas.

Embora o vôo da Apolo 8 tivesse constituído uma tremenda realização técnica e humana, a verdade é que acrescentou muito

pouco à soma de conhecimentos sobre a Lua e os planetas. O vôo foi importante como uma preliminar necessária para o pouso lunar pelos astronautas.

As duas missões Apolo seguintes testaram o Módulo Lunar, que deveria levar os homens à superfície da Lua. A Apolo 11, em julho de 1969, foi a primeira tentativa de pouso na Lua por parte do homem e constituiu um brilhante sucesso. O foguete Saturno impulsionou o Módulo de Comando e de Serviço e o Módulo Lunar para a Lua. Em órbita lunar, os astronautas Neil Armstrong e Edwin Aldrin arrastaram-se por uma escotilha do Módulo de Comando para o Módulo Lunar. O Módulo Lunar separou-se do Módulo de Comando e desceu à superfície lunar, deixando Michael Collins, sozinho, em órbita no Módulo de Comando.

Usando seus motores para diminuir a velocidade de sua descida e guiá-lo para um ponto adequado, Armstrong pousou habilmente o Módulo Lunar no Mar da Tranqüilidade. Os astronautas depararam-se com uma planície crivada de crateras e coberta por rochedos de todos os tamanhos. Envergando seu volumoso escafandro pressurizado, Neil Armstrong abriu a escotilha e desceu cuidadosamente por uma escada curta até pisar a superfície lunar. Verificou que o solo era firme e que podia andar bastante facilmente. O mundo observou seus movimentos pela televisão. Armstrong recolheu algumas amostras de rocha para o caso de serem obrigados a partir subitamente. Depois de baixarem o seu equipamento do Módulo Lunar, Aldrin juntou-se a Armstrong na superfície lunar. Os astronautas recolheram mais amostras de rocha e de poeira, para distribuição aos cientistas de todo o mundo, a fim de estes fazerem análises pormenorizadas; instalaram várias peças

(*À esquerda*) Rota do vôo do Módulo Lunar.
(À direita) Desenho esquemático do Módulo Lunar ligado ao Módulo de Comando

Pouso na Lua da Apolo 11. Aldrin
instala uma tela de alumínio para medir
o "vento solar", partículas emitidas pelo Sol

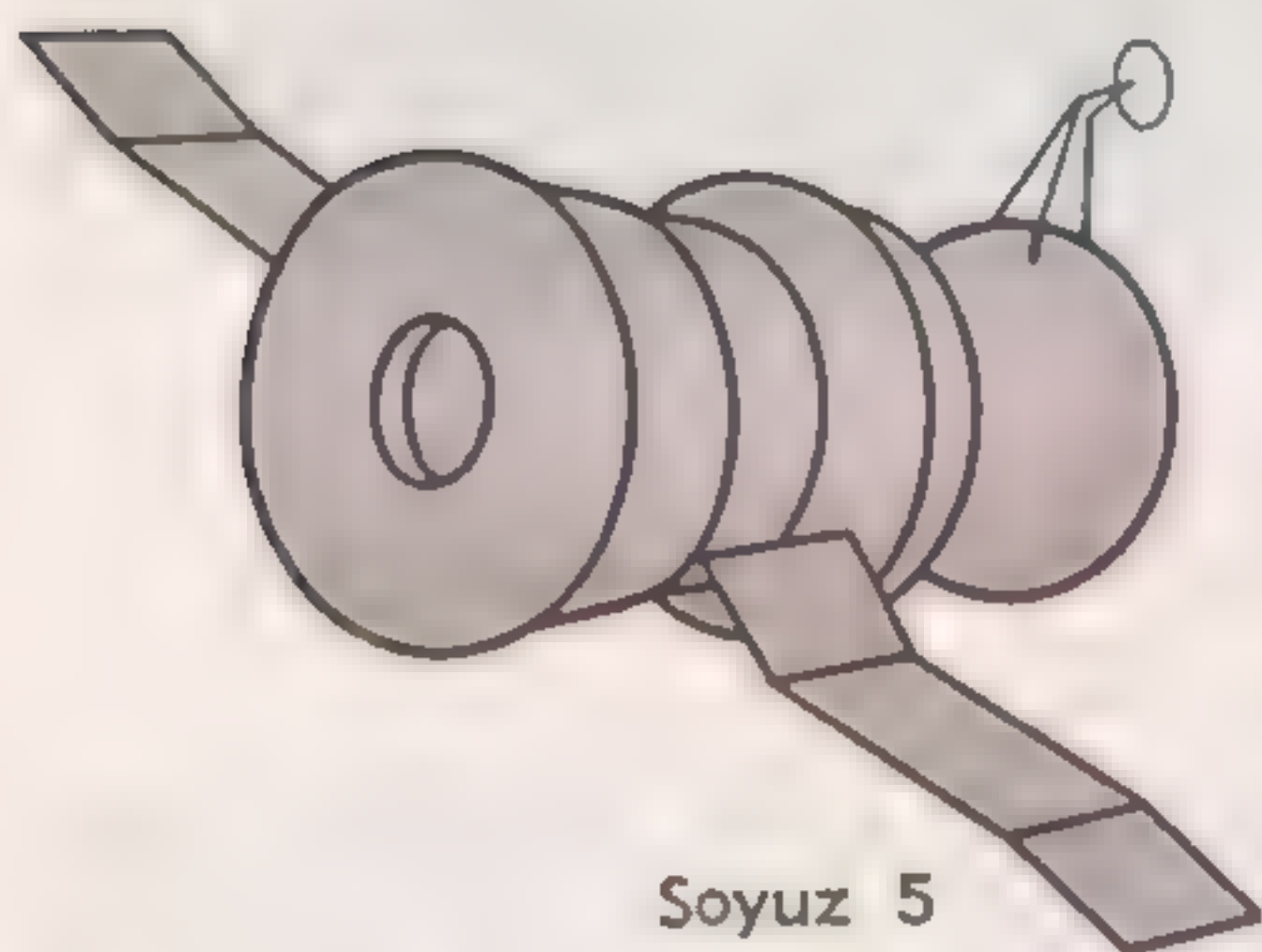
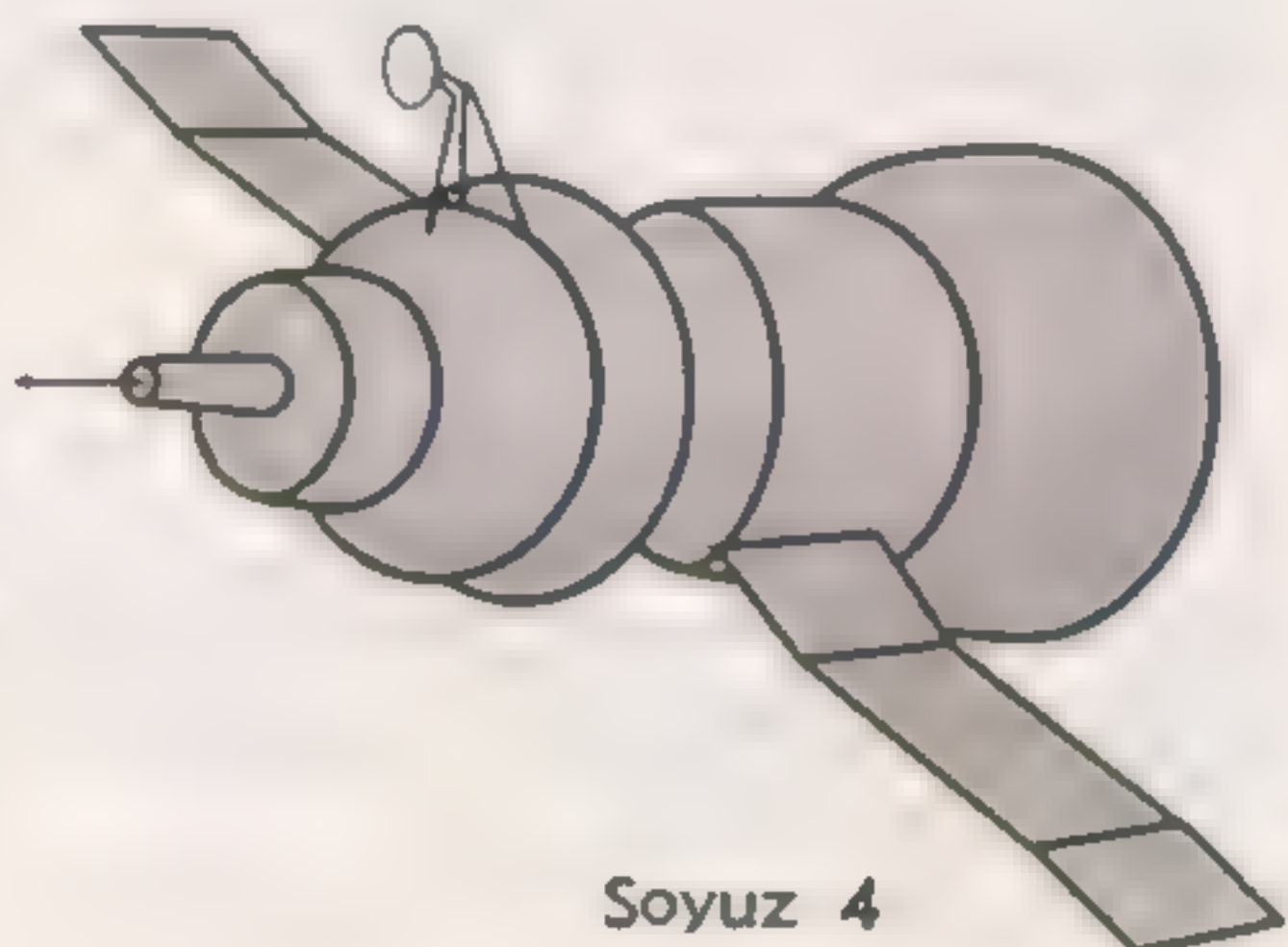
de equipamentos, incluindo um sismógrafo e um écran de folha de alumínio para registrar o "vento solar", o fluxo de partículas eletricamente carregadas, emitidas pelo Sol, e fizeram muitas e excelentes fotografias coloridas do equipamento, do Módulo Lunar e de si próprios.

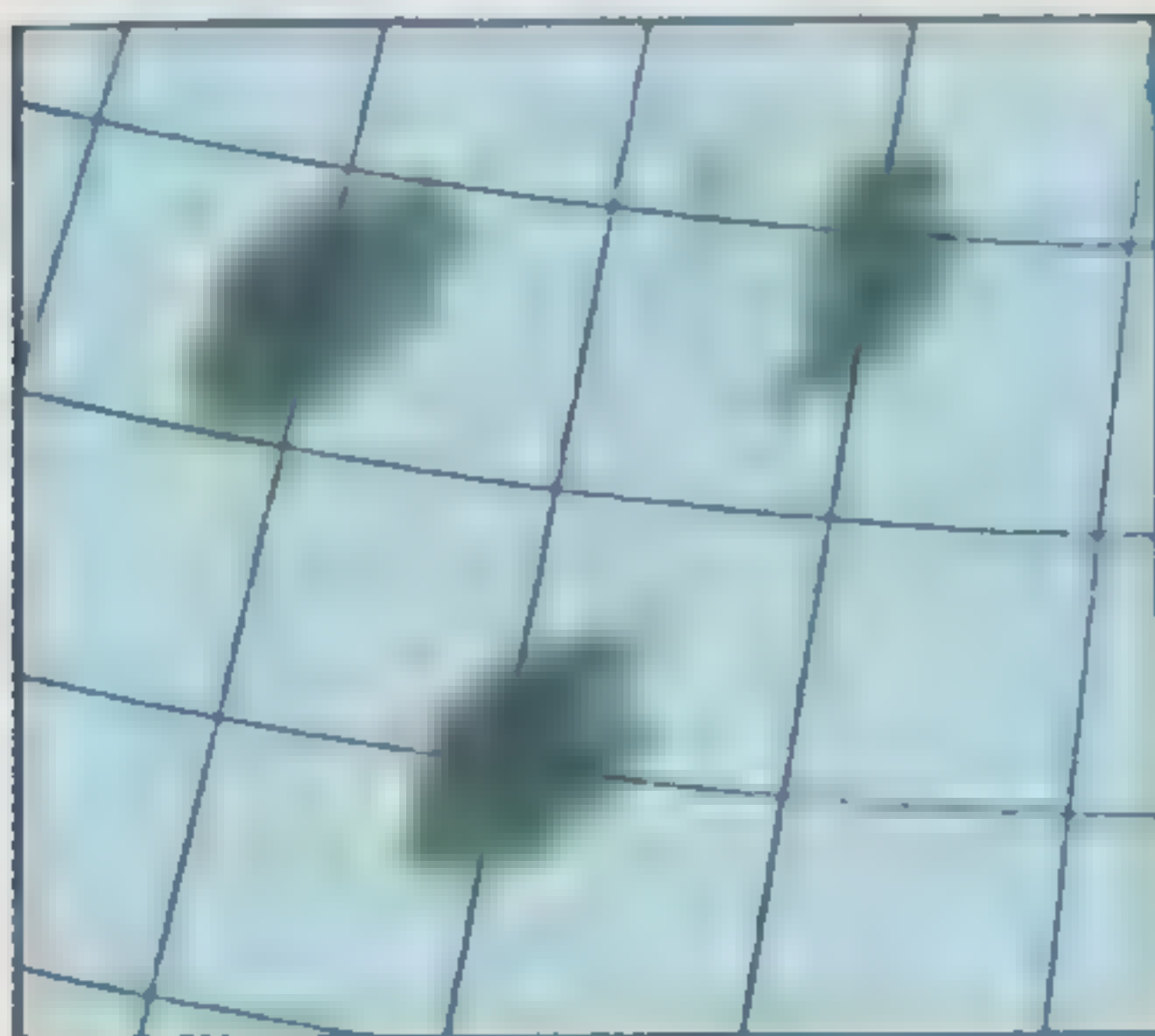
A manobra mais arriscada talvez tivesse sido a partida do Mó-

dulo Lunar da superfície da Lua e o encontro com o Módulo de Comando, em órbita a cerca de 110 km de altitude. A manobra foi realizada com perfeição, pois as duas naves acoplaram-se e Armstrong e Aldrin juntaram-se de novo a Collins no Módulo de Comando. O Módulo Lunar foi largado, então, e deixado em órbita lunar, regressando o Módulo de Comando à Terra e caindo no Pacífico.

Apesar de o método americano, de levar astronautas para a Lua, parecer complicado, ele é, na realidade, a forma mais econômica. Para enviar uma nave diretamente da superfície da Terra para a superfície da Lua seria necessário um foguete com pelo menos o dobro da potência do já imenso Saturno 5. Pensa-se que o mais poderoso foguete soviético, Proton, é consideravelmente menos poderoso do que o Saturno (embora haja rumores de estar em construção um muito mais poderoso) e, assim, o vôo lunar direto deverá ser esquecido durante mais algum tempo.

Os soviéticos talvez se dediquem ao problema de um modo diferente, construindo uma estação espacial tripulada, em órbita da Terra, que poderia ser usada como uma plataforma de lançamento para futuros vôos lunares e planetários. Isto teria a grande vantagem de qualquer foguete lunar precisar apenas acelerar-se acima da velocidade orbital da Terra (pouco mais de 27 mil quilômetros por hora), a fim de alcançar a Lua. Assim, haveria suficiente energia de reserva para um pouso lunar direto.

Além de ser base para foguetes interplanetários, o valor de uma estação espacial, como observatório astronômico e laboratório científico geral, seria inestimável. Os soviéticos já mostraram – em janeiro de 1969 – a viabilidade desta estação ao acoplarem duas grandes naves tripuladas, Soyuz 4 e 5, em órbita em volta da Terra, para formarem um laboratório temporário, trocando de tripulações antes do regresso à Terra, com o resultado de, alguns anos depois, já haver uma estação permanente, o *Skylab*, com suas tripulações trocáveis regularmente por meio de foguetes.

(*Em cima*) Possível estação espacial em órbita

(*À direita*) Parte de um mapa de radar do planeta Vênus. As áreas escuras poderão ser montanhas

(Em baixo, à esquerda) Acoplamento das Soyuz 4 e 5. Tais técnicas são essenciais na montagem de estações espaciais

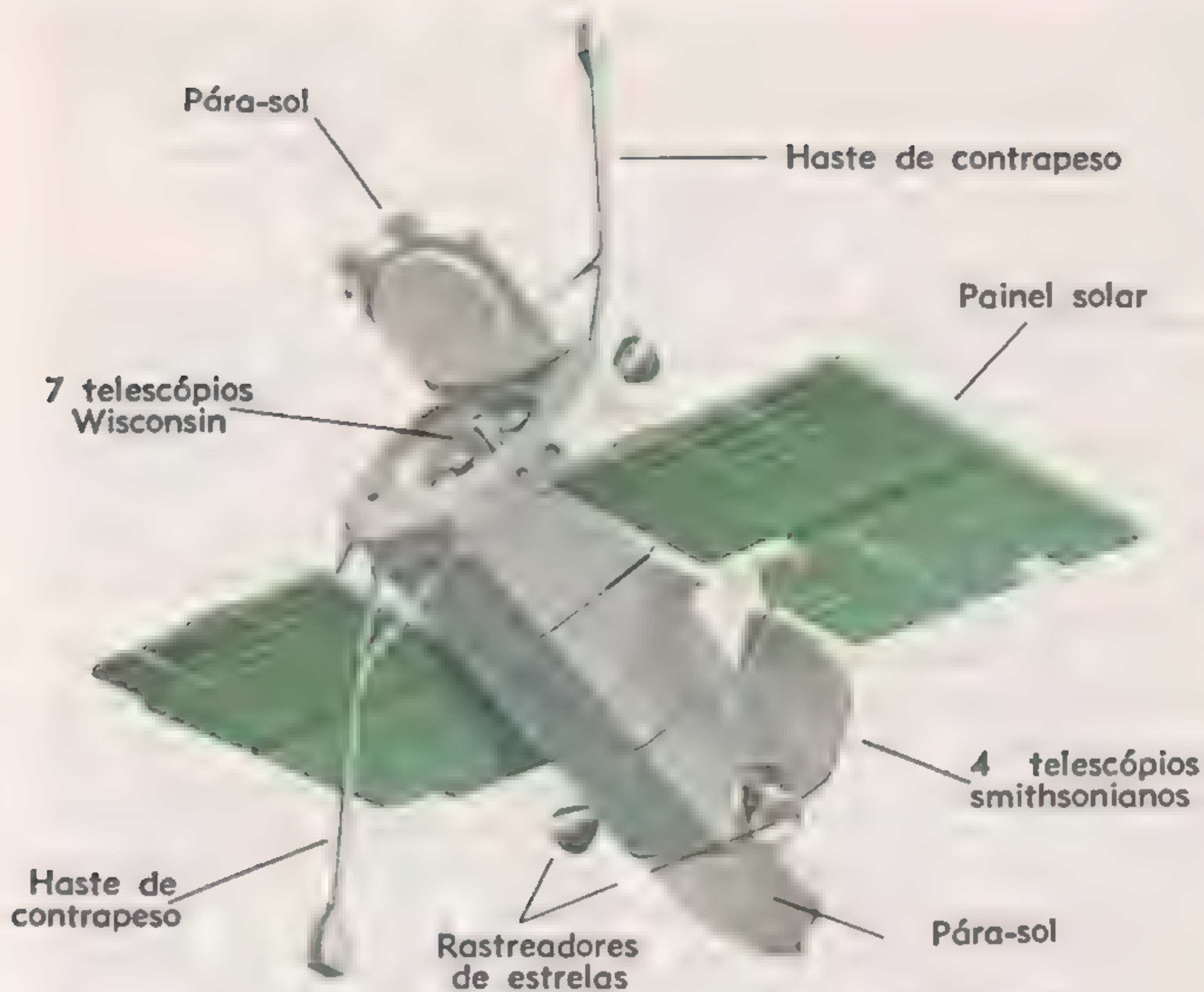
Os americanos seguiram o triunfo da Apolo 11 de julho de 1969 com o vôo da Apolo 12 de novembro de 1969 e, depois disso, foram planejados mais vôos da Apolo, de maneira a estes se verificarem mais ou menos a cada seis meses. Os astronautas da Apolo 12, Conrad e Bean, pousaram a uma distância muito pequena do Surveyor 3, um notável pouso quanto a sua exatidão. Retiraram a câmara de televisão do Surveyor 3 e realizaram certo número de experiências antes de voltarem a juntar-se a Gordon, no Módulo de Comando. Desta vez, o Módulo Lunar, em vez de ficar em órbita no espaço, foi lançado para a superfície da Lua. O impacto produziu resultados inesperados: o sismógrafo, em vez de registrar o choque durante alguns segundos, revelou que as ondas provocadas por esse choque vibraram durante 55 minutos. Os cientistas ainda não explicaram totalmente este curioso resultado.

Os espetaculares vôos espaciais tripulados atraem, naturalmente, muito mais a atenção do que qualquer outra coisa, mas deve ser recordado que, de momento e durante ainda algum tempo, a maior parte da exploração planetária será realizada por meio de sondas espaciais não tripuladas e por instrumentos instalados na Terra. Na realidade, há muitos astrônomos que afirmam que demasiado dinheiro e esforço está sendo gasto em vôos espaciais relativamente improdutivos, com sacrifício da pesquisa convencional.

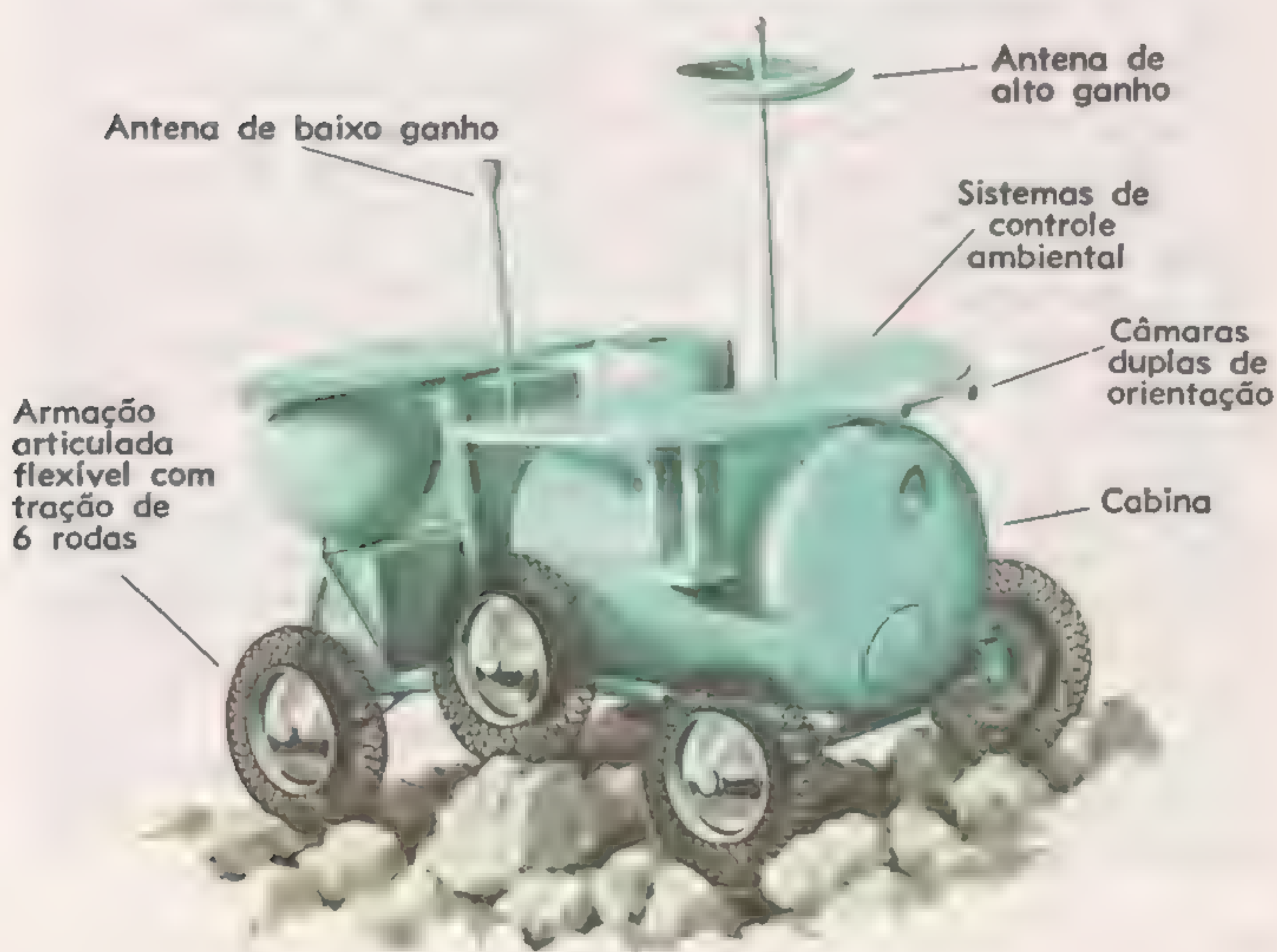
Alguns astrônomos estão fazendo pressão para a construção de um telescópio infravermelho de 25 m, o qual, a um custo, digamos, menor do que o de uma sonda Vênus, seria muito mais útil, de modo geral. Tais telescópios são usados, habitualmente, em comprimentos de onda vinte vezes mais longos do que a luz visível (ver página 34) e, assim, têm poder de resolução vinte vezes mais pobre do que seus equivalentes ópticos. Desse modo, um telescópio infravermelho de 25 m só poderia estudar detalhes tão bem quanto o faz um instrumento visual de 12 cm. Todavia, tal instrumento seria extremamente útil para pesquisar superfícies planetárias e notar quaisquer variações de temperatura (Vênus, por exemplo, conforme foi verificado, possui "manchas quentes" localizadas), bem como para estudar novas regiões do espectro.

A astronomia por radar, na qual os sinais refletidos pelos planetas são analisados, é outra técnica que se tornou muito importante recentemente. O período de rotação de 59 dias do planeta Mercúrio foi descoberto por esta forma e os radioastrônomos americanos de Goldstone, na Califórnia, já produziram por radar um mapa de Vênus, mostrando três zonas que se pensa serem montanhosas. O maior telescópio de radar atual é o "prato" de 300 m, construído numa depressão natural em Arecibo, Porto Rico.

Em janeiro de 1969, os soviéticos lançaram outra nave de pouso suave para Vênus, a fim de esclarecer as medições conflitantes realizadas pelas últimas sondas Vênus; enquanto, por seu lado, os americanos lançaram dois outros Mariners para Marte, na primavera de 1969. Os Estados Unidos planejam uma nave Orbiter não

Pára-sol
Haste de contrapeso
Painel solar
7 telescópios Wisconsin
4 telescópios smithsonianos
Haste de contrapeso
Rastreadores de estrelas
Pára-sol

Observatório astronômico em órbita (OAO)

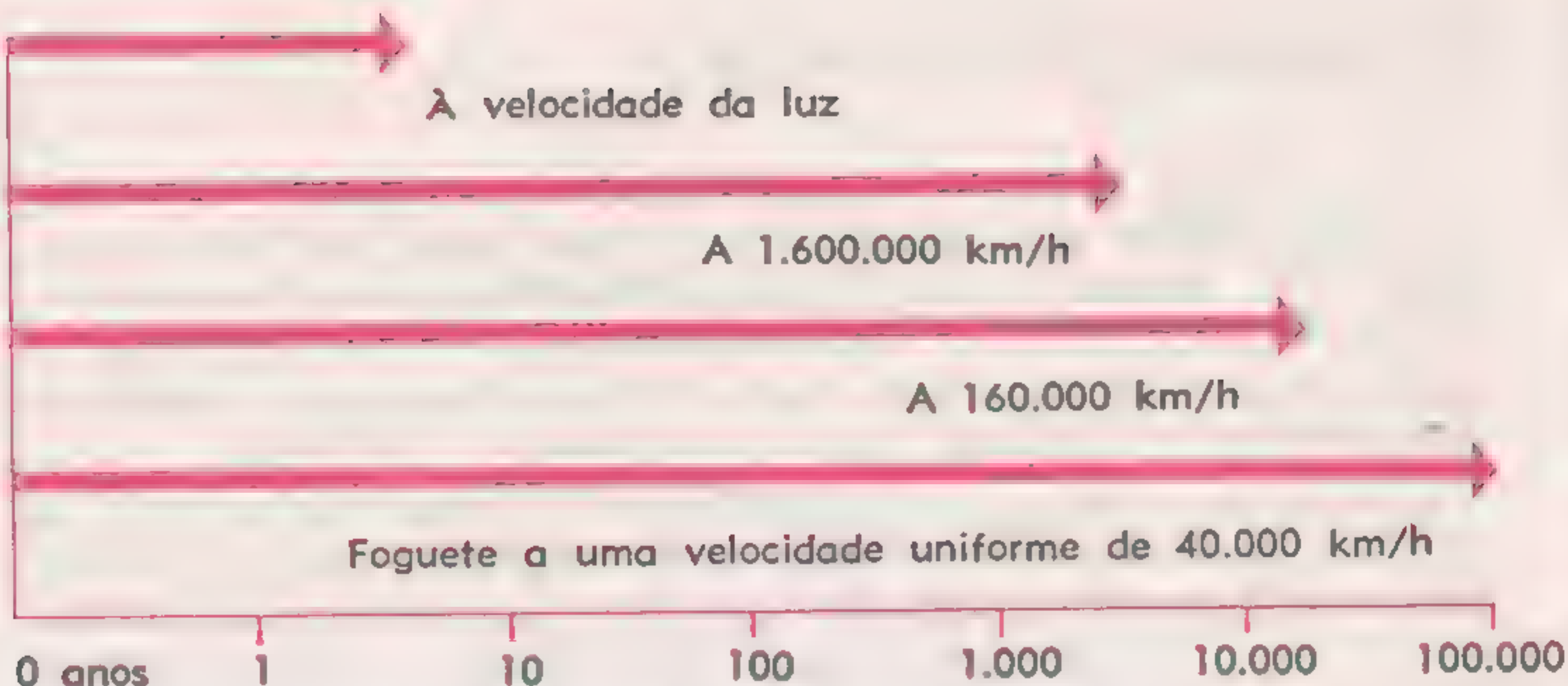
Um veículo proposto para exploração lunar

Antena de alto ganho
Antena de baixo ganho
Sistemas de controle ambiental
Câmaras duplas de orientação
Armação articulada flexível com tração de 6 rodas
Cabina

tripulada para um vôo a Marte, bem como uma viagem semelhante para Vênus. Em 1977, a posição dos planetas Júpiter, Saturno, Urano e Netuno será tal que uma só sonda espacial poderia ser lançada numa rota que passaria pelos quatro. Como essas condições não voltarão a verificar-se nos próximos 175 anos, é bem provável que se realize uma tentativa nesse sentido.

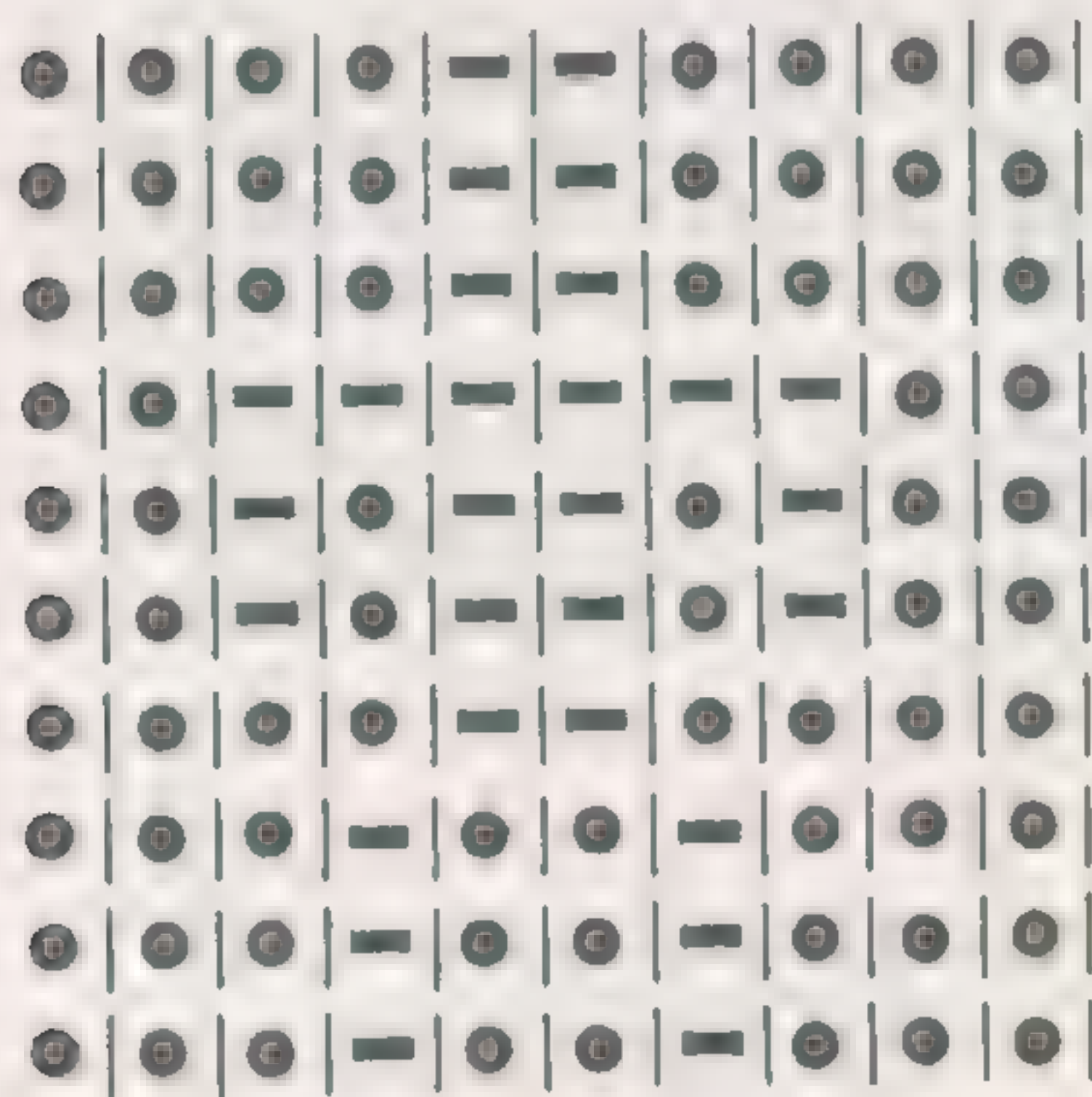
Não restam dúvidas, entre os astrônomos, de que, uma vez que observatórios tripulados sejam estabelecidos, em plataformas espaciais ou na superfície da Lua, a astronomia como um todo se beneficiará bastante. Já foram produzidos vários projetos para bases lunares, usando a radiação solar e reatores nucleares para o abastecimento de energia, bases essas em que colônias de cientistas poderiam viver e trabalhar, e as experiências no que se refere a produzir veículos adequados para viajar sobre a acidentada superfície lunar já estão muito avançadas.

Os vôos tripulados para os planetas mais próximos poderão ocorrer na próxima década, embora os planetas mais distantes ainda tenham de esperar mais tempo. Ao regressar de outros planetas, os viajantes espaciais apresentarão um problema potencialmente sério, o da contaminação. Os astronautas da Apolo, quando regressaram das suas viagens lunares, foram mantidos em isolamento estrito durante um período de três semanas, para eliminar a remota possibilidade de terem captado na Lua algum material orgânico nocivo. Com viagens a, digamos, Marte, serão necessárias precauções ainda mais estreitas. A quarentena terá de ser imposta severamente ou, então, a idéia de uma "epidemia espacial", tão querida dos autores de ficção científica, poderá deixar de ser uma fantasia.

Parece provável que outras estrelas também tenham planetas e que alguns destes poderão comportar vida inteligente. A única forma de comunicação que nos é permitida, de momento, é o rádio e, como a estrela mais próxima se encontra a mais de 4 anos-luz de distância, qualquer "conversa" que pudesse ter lugar seria um processo muito demorado! Apesar de a esperança de sucesso ser mínima, já foram realizadas tentativas para nos comunicarmos deste modo. O Projeto Ozma, iniciado nos Estados Unidos em 1960, tentou detectar sinais de "outras civilizações" num comprimento de onda de 21 cm. Como o hidrogênio no espaço emite ondas de rádio neste comprimento, este seria o comprimento lógico em que outra civilização poderia transmitir. Nenhum sucesso foi anunciado.

As viagens para as estrelas estarão fora do alcance do homem durante ainda muito tempo. Será preciso inventar formas de propulsão inteiramente novas, pois os atuais foguetes de combustível químico são inteiramente insuficientes para essa tarefa. Avançando a uma velocidade regular de 40 mil quilômetros por hora, uma nave espacial levaria não menos de cem mil anos para alcançar a estrela mais próxima! É impossível, para qualquer objeto, alcançar a velocidade da luz e, mesmo que uma nave conseguisse atingir tal velocidade, as viagens interestelares continuariam sendo excessivamente demoradas.

O tempo necessário, a várias velocidades, para alcançar Proxima Centauri, a estrela mais próxima

Método de comunicação interplanetária usando sinais digitais

● = pulso curto
▬ = pulso longo

Sinal

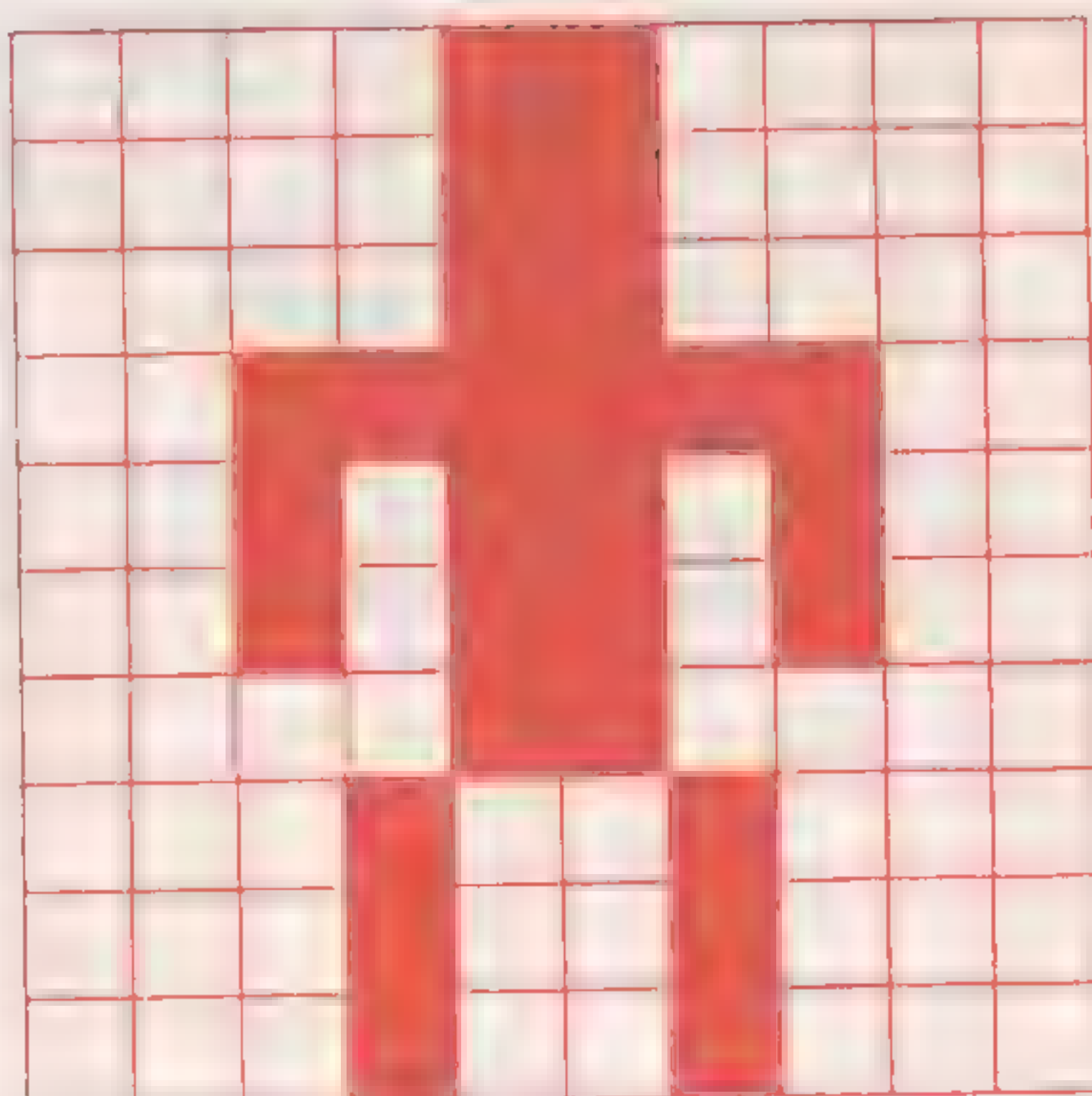



Imagem decodificada do sinal

O AMADOR E OS PLANETAS

Houve muitos amadores, no passado, que contribuíram com valiosas observações para o estudo e a exploração dos planetas e, ainda hoje, quando os astrônomos profissionais se estão servindo de instrumentos cada vez mais sofisticados (para não mencionar as sondas espaciais), o amador, com muita paciência e um telescópio razoável, pode continuar fazendo observações de valor.

No que se refere a certas observações, como, por exemplo, os satélites artificiais, um binóculo será suficiente, mas o tamanho mínimo útil normal de telescópio que pode ser usado é um refrator de 7,5 cm e, em muitos aspectos, um refrator de 10 cm é muito melhor. O outro tipo de telescópio é, naturalmente, o refletor, mas, em tamanhos pequenos, o refrator é muito mais eficaz do que o refletor. Assim, embora um refrator de 10 cm seja muito útil, os refletores abaixo de uma abertura de 15 cm não são muito úteis para observações planetárias.

É fácil fabricar um refrator simples que possa mostrar muitos objetos interessantes. Tudo o que é preciso é uma lente, digamos, com 5 cm de diâmetro e 75 cm de distância focal, para servir como objetiva; uma pequena lente de foco curto, digamos, com distância focal de 2,5 cm, para servir de ocular, e dois tubos de papelão nos quais as lentes serão montadas. A focalização poderá ser efetuada deslizando o tubo da ocular sobre o tubo da objetiva. Um tal instrumento aumentaria trinta vezes e proporcionaria uma visão do céu muito semelhante à que Galileu via com seu telescópio.

Os refratores para realizar observações sérias têm de ser comprados. Todavia, os refletores são muito mais baratos e podem ser facilmente construídos pelo amador. Os espelhos de até 30 cm de diâmetro podem ser polidos facilmente e, assim, o custo de um instrumento poderoso poderá ser bastante baixo. Para quaisquer observações úteis, é essencial que os telescópios estejam bem montados e que as observações sejam acompanhadas pela seguinte informação: nome do observador e do local de observação; data e hora da observação (geralmente na hora média de Greenwich); tamanho do telescópio e aumento; condições de observação e notas suplementares.

Há muitas potencialidades no que se refere à fotografia astronômica e, em especial, no caso do Sol e da Lua, certos amadores têm obtido fotografias que rivalizam com os trabalhos profissionais.

(Ao lado, embaixo)
Telescópio refrator
de 7,5 cm numa montagem
equatorial

Refletor de amador numa montagem equatorial

O binóculo 7 X 50* tem um tamanho útil para observar o céu

* "7x" representa 7 vezes de aumento; "50" representa o diâmetro da objetiva em milímetros

A Lua

Até recentemente, as observações da Lua eram realizadas quase inteiramente por amadores, mas o interesse profissional voltou a ser despertado com o advento da exploração espacial e, então, instrumentos poderosos começaram a ser usados para essas observações. As fotografias de detalhes feitas pela série Orbiter e pelos astronautas da Apolo tornaram redundantes certas atividades amadoras como, por exemplo, traçar mapas das estruturas da superfície da Lua, e os amadores que desejaram contribuir com resultados valiosos tiveram de se especializar. Virtualmente, o único trabalho desse tipo que ainda vale a pena realizar é a localização dos domos lunares. Estas estruturas de baixa elevação com forma de bolhas são de grande interesse e, devido a suas formas, só podem ser vistas em ângulos particulares de iluminação, de maneira que, telescópios com aberturas de 15 cm ou mais podem ser usados.

Outro programa de observações meritório é o Projeto Crateras da Lua, que é uma tentativa para calcular os perfis dos interiores de pequenas crateras lunares, combinando centenas de medições dos comprimentos das sombras dentro dessas crateras em várias fases da Lua. O processo adotado é desenhar a área aparente da

Domos e raios na superfície lunar

Terminador, i. é, a linha divisória entre as partes iluminada e não-iluminada

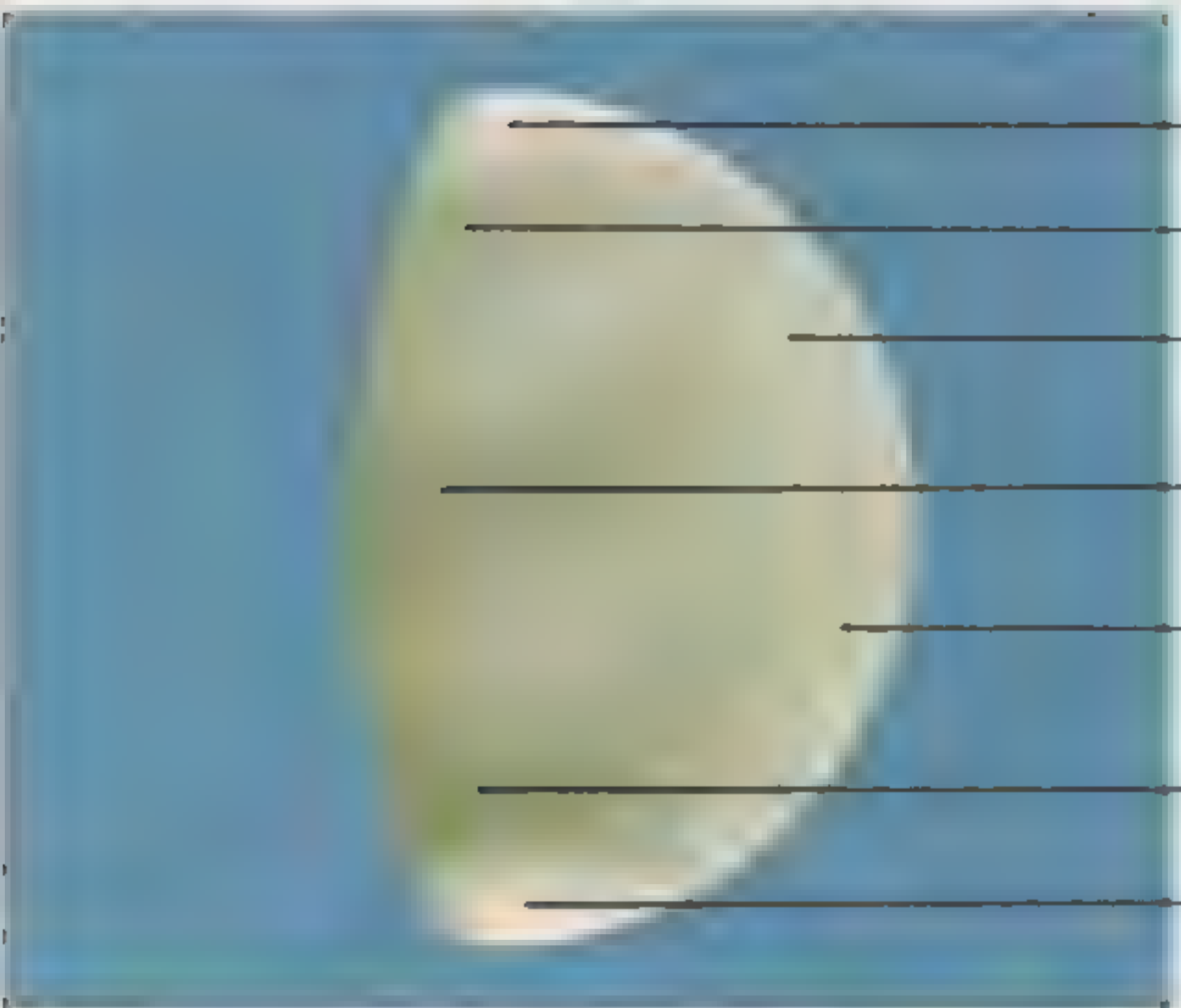
Manchas escuras na cratera Alphonsus. A seta indica a posição de uma erupção vulcânica observada por Kosyrev

cratera que está coberta pela sombra e estimá-la como uma porcentagem, medindo o desenho depois. Este processo tem sido considerado mais exato do que calcular a fase visualmente, no telescópio. Os resultados deverão, então, ser enviados para a *British Astronomical Association* ou, nos Estados Unidos, para a *Association of Lunar and Planetary Observers*. Um refrator de 10 cm ou um refletor de 15 cm serão suficientes para estas observações, enquanto um refletor de 20 cm abrangerá todas as crateras incluídas no programa.

De maior interesse talvez sejam as observações de fenômenos lunares transitórios. Certas áreas da Lua, especialmente em volta das crateras Platão, Alphonsus, Aristarchus e Gassendi, tendem a apresentar pequenas luminosidades coloridas, breves lampejos ou obscurecimentos. Estes fenômenos são significativos de pequena atividade na Lua e, assim, têm uma importância considerável. Os amadores poderão fazer contribuições muito úteis, observando estas características. Um telescópio de 15 cm poderá ser usado, mas os de 20 ou 25 cm são de maior valor. Estes fenômenos são vistos muito mais facilmente com uma peça chamada "cintilador lunar", que é, basicamente, um suporte contendo vários filtros de cor que podem ser alternados no campo de visão.

Certas áreas da Lua são suspeitas de mudança ou de atividade

Fase teórica de Vênus em dicotomia, isto é, 50% iluminada

Fase real, iluminada 58%

Medições de intensidade

Mercúrio

Mercúrio é muito difícil de localizar e são necessários telescópios muito poderosos para distinguir quaisquer de suas estruturas de superfície. Pouco pode ser feito pelo amador comum, exceto anotar se o efeito Schroter (ver abaixo) ocorre ou não, tanto em Mercúrio quanto em Vênus.

Vênus

Como já vimos antes, Vênus está permanentemente coberto por densas nuvens e pouco pode ser visto no seu disco. É bastante difícil de observar, encontrando-se sempre melhor colocado durante o dia, quando se torna necessário um bom suporte equatorial para encontrar o planeta. É preciso muito cuidado, quando em busca do planeta durante o dia, a fim de evitar que o Sol entre acidentalmente no campo de visão; o resultado poderia causar severos danos à vista. Próximo do pôr do Sol ou do amanhecer, quando o planeta é visível num céu escuro, também está bastante perto do horizonte e o disco é perturbado por turbulências atmosféricas.

A discrepância entre o efeito Schroter, quando observado, e as fases teóricas, é bem estabelecida, mas a continuação das observações pode ser de valor considerável para estabelecer em que grandeza o efeito flutua de elongação para elongação. A discrepância pode, por vezes, exceder 6 ou 7% do diâmetro aparente do planeta. As vagas manchas escuras não nos têm dado quaisquer informações úteis sobre o planeta, mas também deveriam ser registradas na escala de intensidade mostrada aqui, sempre que se tornem visíveis.

As capas das cúspides ainda não foram explicadas satisfatoriamente, mas as observações regulares talvez venham a dar-nos uma solução. Sua posição, brilho e extensão devem ser calculados cuidadosamente.

A luz cinzenta permanece um mistério e as observações cuidadosas são de grande valor, aqui, já que certas autoridades no assunto afirmam que o efeito é ilusório. A forma mais satisfatória de observar este fenômeno é colocar uma barra curva de ocultação no campo de visão da ocular de modo a bloquear a luz brilhante do crescente de Vênus e diminuir a possibilidade de ilusões ópticas.

Vênus, de várias formas, é um planeta insatisfatório, no que se refere à observação, mas é de grande interesse, apesar disso. Os instrumentos com mais de 10 a 15 cm de abertura podem ser usados com sucesso. A deusa do amor esconde bem seus segredos.

Aspectos variáveis da topografia marciana, esboçados por amadores

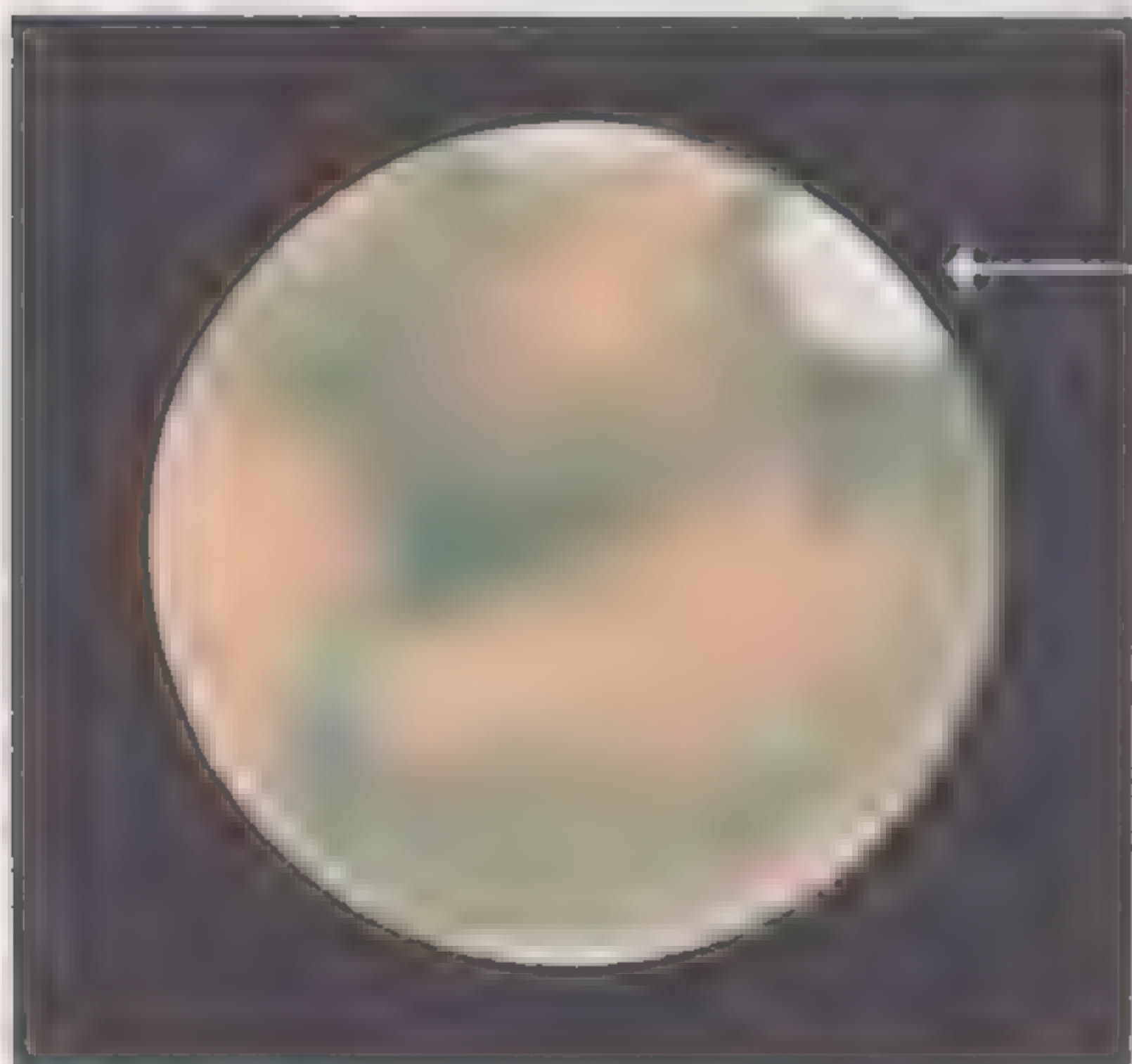
Marte

Marte talvez tenha interesse mais imediato para o observador do que qualquer outro planeta, simplesmente pelo fato de ser o planeta mais parecido com a Terra e pela possibilidade que existe de que abrigue vida. Todavia, devemos reconhecer que Marte não é fácil de se observar por causa do pequeno tamanho de seu disco, da variação no tamanho aparente do planeta e de seu longo período sinódico. Isto significa que as observações realmente eficazes só podem ser realizadas perto da oposição e as oposições mais próximas só ocorrem duas ou três vezes no decorrer de quinze a dezessete anos. Além disso, quando se encontra numa oposição próxima, Marte não pode ser bem observado do hemisfério norte da Terra, onde vive a maioria dos observadores. Marte, entretanto, apresenta mais estruturas do que Vênus e seu fascínio não pode ser negado.

Um telescópio de 15 cm permitirá estudar suas principais estruturas durante alguns meses, no período de oposição, e um de 30 cm poderá ser usado para uma longa e verdadeiramente útil série de resultados. Os aspectos mais importantes que merecem ser observados são os seguintes: o aparecimento das zonas escuras, qualquer crescimento ou evolução de qualquer natureza e seu comportamento ao longo das estações. Este comportamento nas calotas polares deveria ser observado e uma atenção especial deve ser dada à borda escura que rodeia a calota, quando esta encolhe e quando se torna visível. Uma observação atenta também deverá ser mantida no que se refere a quaisquer nuvens azuis, brancas ou amarelas. Estas são vistas, por vezes, como escurecimentos das estruturas da superfície marciana.

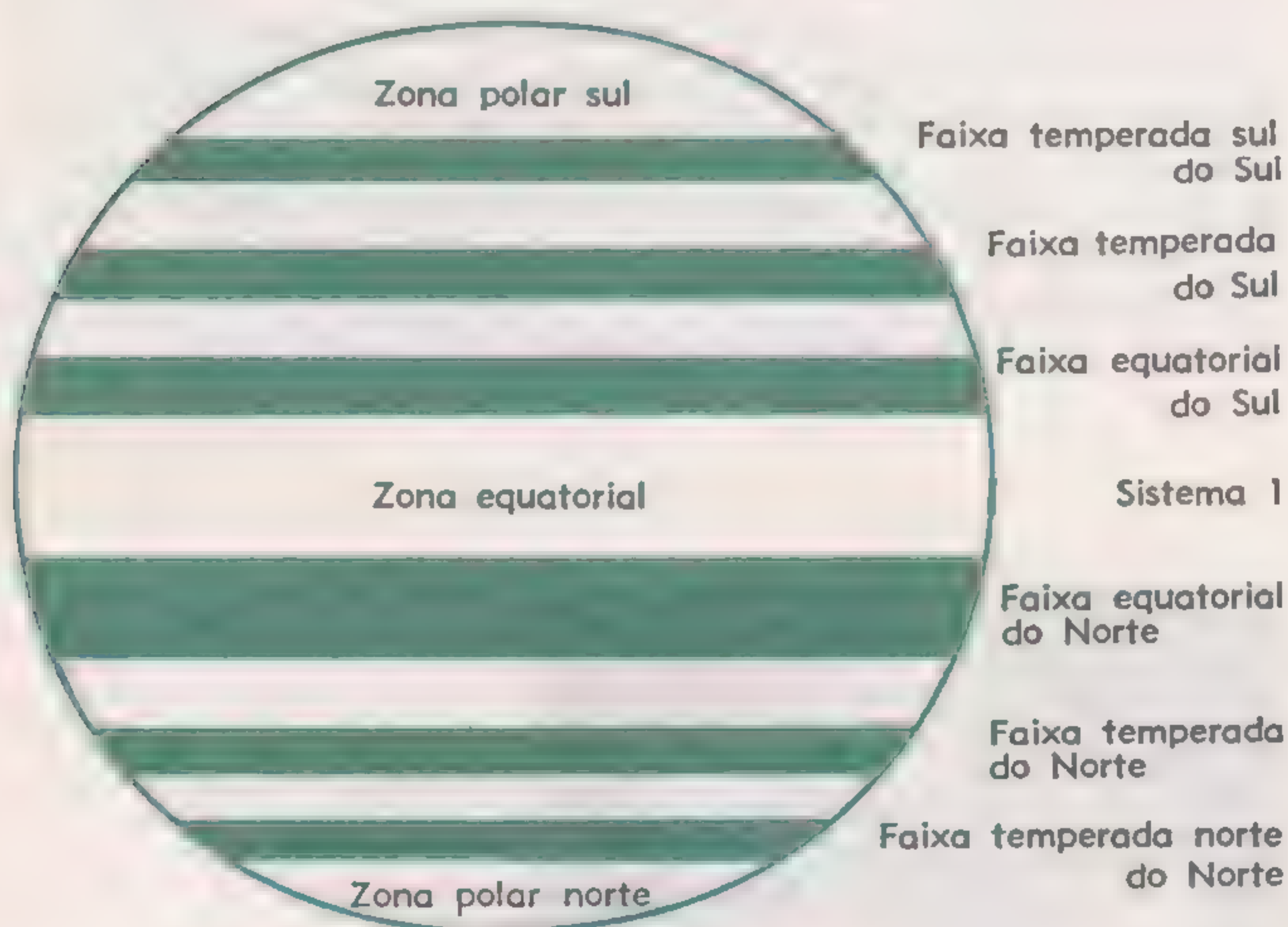
As observações com filtros de cor podem ser valiosas, particularmente pelo fato de poderem mostrar quaisquer clareamentos temporários da "camada azul" na atmosfera de Marte.

Geralmente, os desenhos do planeta são feitos num tamanho

padrão, um disco de 5 cm de diâmetro preparado antecipadamente para mostrar quaisquer pequenos efeitos de fase e a posição e inclinação dos pólos. A melhor técnica para isto é estudar o planeta cuidadosamente durante algum tempo, antes de começar a desenhar no papel. Quando todos os pormenores visíveis já tiverem sido observados, o desenho deverá ser feito tão rapidamente quanto a exatidão o permita, a fim de evitar qualquer confusão na posição do pormenor devido à rotação do planeta. Desnecessário será dizer que os pormenores mais amplos deverão ser registrados primeiro. As notas descritivas também são necessárias.

Mancha brilhante indica presença de nuvem

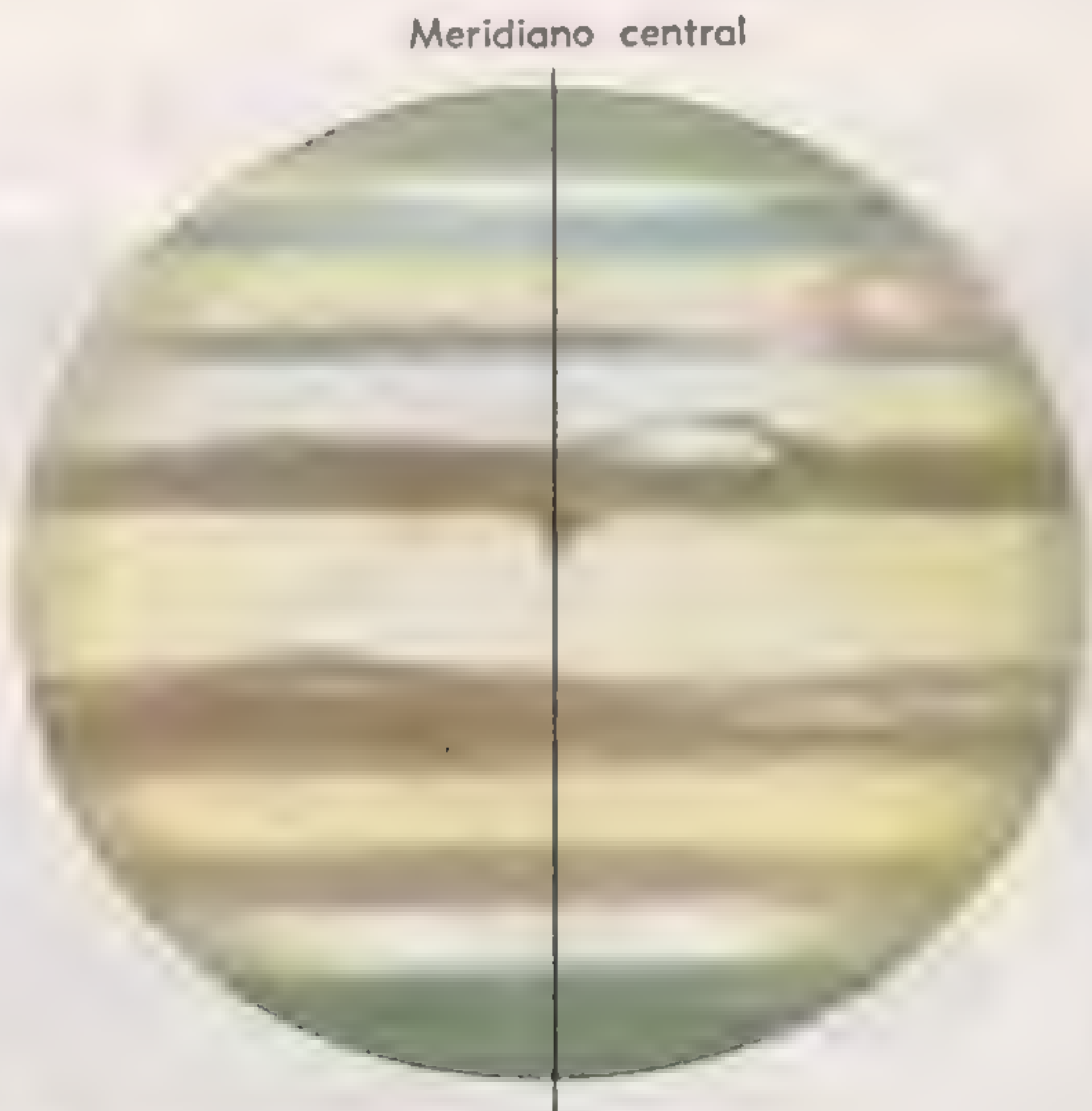
Júpiter

Júpiter é, por certo, o planeta que melhor recompensa o estudo amador – oferece grande quantidade de interessantes detalhes visíveis, constantemente cambiantes. Como se encontra em oposição cada treze meses, pode ser estudado regularmente e, como seu tamanho aparente é grande, até mesmo um refrator de 5 cm mostrará algumas de suas faixas de nuvens. Todavia, para observações úteis, um refrator de 10 cm é o tamanho mínimo e um de 15 cm será ainda melhor.

A principal tarefa para o amador é registrar passagens. Quando uma estrutura, digamos uma mancha numa das faixas de nuvens, atravessa a linha que une os pólos norte e sul (o meridiano central), diz-se que essa mancha está em passagem, e séries de observações de passagens de estruturas das faixas de nuvens permitem que períodos de rotação sejam calculados para essas estruturas. Assim, quaisquer velocidades anômalas de rotação podem ser detectadas e as correntes atmosféricas poderão ser traçadas. As estruturas entre as faixas equatoriais ou dentro delas são tomadas como estando no sistema 1 para fins de referência e as estruturas fora dessa zona são indicadas como pertencentes ao sistema 2. Uma seqüência típica (imaginária) de observação de passagem seria anotada como segue:

As faixas e as zonas de Júpiter

12 de dezembro de 1965. Refletor de 20 cm, X240. Visibilidade razoável, transparência boa

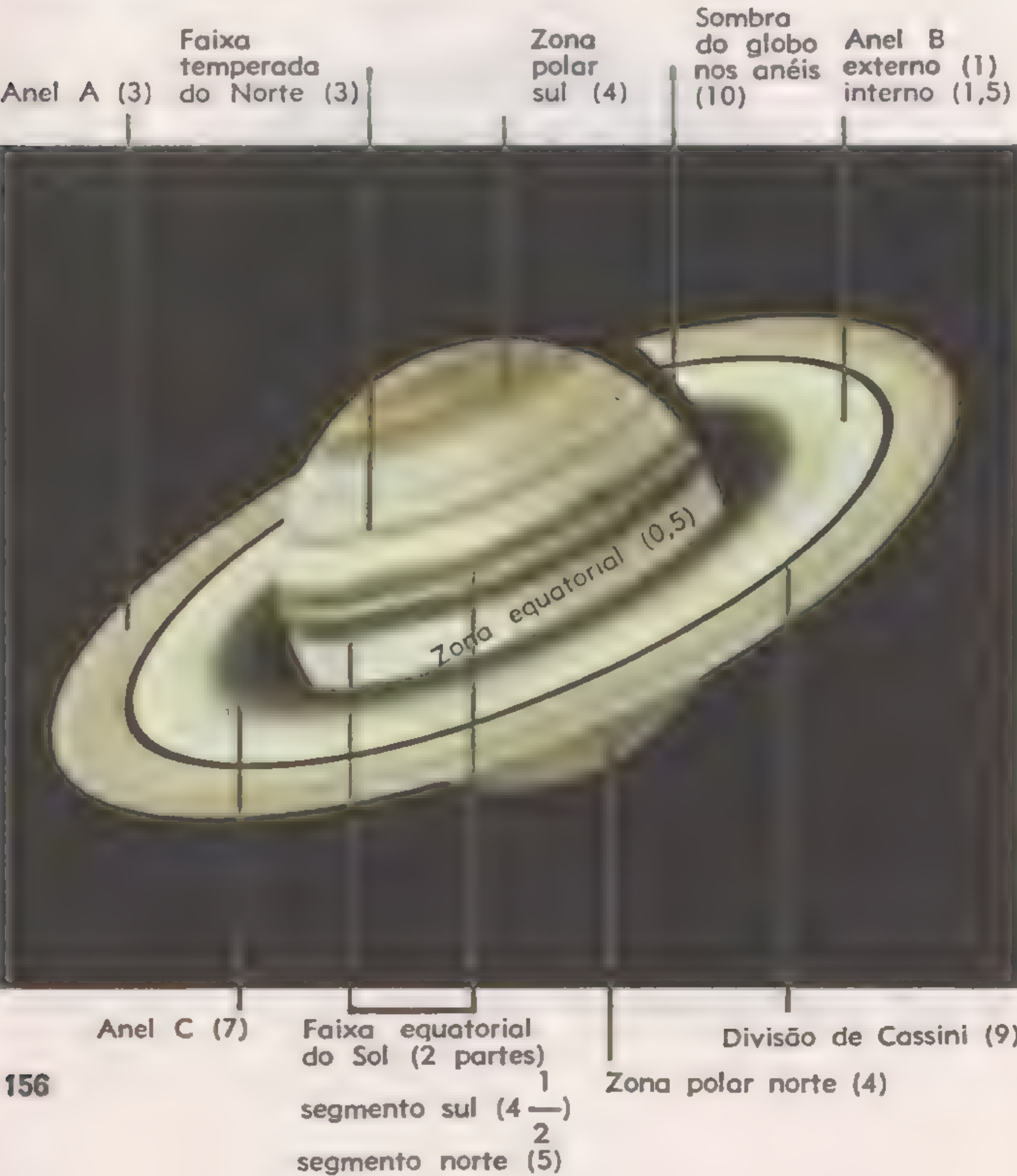
Tempo Médio de Greenwich		longitude Sistema 1	longitude Sistema 2
21h 35m	projeção na Faixa Equatorial do Norte	237,2	
21h 39m	extremidade anterior da lista escura na Faixa Equatorial do Sul		205,5
21h 42m	ponto branco na Faixa Equatorial do Sul	241,4	
21h 43m	parte central da lista passando pela Zona equatorial	242	

A hora da passagem é anotada até o minuto mais próximo e as longitudes das estruturas são obtidas em tabelas como as dadas

Medições de passagem. A ponta no lado norte da faixa equatorial sul encontra-se no meridiano central e, assim, está em passagem. As observações de passagens têm sido muito valiosas nas tentativas para correlacionar ondas de rádio de Júpiter com fenômenos de superfície

pelo Manual da *British Astronomical Association* depois de observar o final da passagem. O movimento de estruturas pelo meridiano central é sempre bastante rápido; os observadores experientes raramente cometem erro de mais de alguns minutos. Desenhos do disco deverão ser feitos ocasionalmente para mostrar a aparência geral do planeta; a velocidade é essencial em razão de sua rotação rápida. Tiras de esboços podem ser feitas para mostrar a evolução de estruturas.

Saturno

Saturno proporciona uma visão espetacular em telescópios com mais de 5 cm de abertura, e a atenção, naturalmente, é focalizada no sistema de anéis. Todavia, o amador sério deveria dedicar algum

Estruturas que devem ser notadas em Saturno, com escala de intensidade. As intensidades vão de 0 (branco bilhante) até 10 (céu preto)

Os resultados combinados dos membros da *British Astronomical Association* sobre a fase de Vênus. A discrepância entre fase observada e fase teórica foi assinalada particularmente em 1962

tempo ao globo do planeta. As faixas de nuvens são menos acentuadas do que em Júpiter e, geralmente, não apresentam atividade e, portanto, detalhes. Assim, as estruturas em passagem são bastante raras e as observações de passagens, quando são possíveis, têm importância considerável, já que nosso conhecimento do período de rotação do planeta em diferentes latitudes está longe de ser completo. Certas estruturas, como pontos ou manchas brancos, deveriam ser comunicadas imediatamente.

A forma das sombras dos anéis sobre o globo e do globo sobre os anéis deveria ser anotada, juntamente com as medições da intensidade dos anéis e das estruturas da superfície. A intensidade é calculada segundo uma escala que vai de 0 (mais brilhante) até 10 (sombra preta) em que a intensidade da parte externa do Anel B é considerada 1. A posição e a largura de quaisquer divisões menores nos anéis são medidas mais exatamente com um micrômetro, mas os desenhos de medição podem oferecer resultados úteis.

Quando uma estrela passa por detrás dos anéis e/ou do planeta, as variações experimentadas em intensidade, antes de estar totalmente oculta, podem dar-nos informações valiosas sobre a densidade dos anéis e da atmosfera do planeta. As observações do brilho dos satélites também são úteis.

O QUE HÁ PARA LER

A NATUREZA DO UNIVERSO, Fred Hoyle, Biblioteca de Cultura Científica, Zahar Editores, Rio de Janeiro.

O UNIVERSO EM QUE VIVEMOS, Sir James Jeans, Biblioteca de Cultura Científica, Zahar Editores, Rio de Janeiro.

A CONQUISTA DE MARTE, Willy Ley, Coleção Universo, Edições Bloch.

A CONQUISTA DO IMPÉRIO DO SUL, Frederick I. Ordway, III, e Ronald C. Wakeford, Editora Cultrix, São Paulo.

OS LIVROS DE PRISMA

1. EVOLUÇÃO DA VIDA
   Catherine Jarman
2. MAMÍFEROS
   Michael Boorer
3. FOGUETES E MÍSSEIS
   John W. R. Taylor
4. HEREDITARIEDADE
   Ronald Withers
5. O PLANETA TERRA
   I. O. Evans
6. O CORPO HUMANO
   Paul Lewis e David Rubenstein
7. ASTRONOMIA
   Iain Nicolson
8. O HOMEM FÓSSIL
   Michael H. Day
9. EXPLORAÇÃO SUBMARINA
   Hen Roscoe
10. MAGIA NEGRA E FEITIÇARIA
    Peter Haining
11. PLANTAS PARA CASA
    Joan Compton
12. ANIMAIS PRÉ-HISTÓRICOS
    Barry Cox
13. CARROS FAMOSOS
    D. Burgess Wise
14. ARQUEOLOGIA
    Francis Celoria
15. EXPLORAÇÃO DOS PLANETAS
    Iain Nicolson
16. COMPUTADORES
    John Clark
17. PREVISÃO DO TEMPO E CLIMA
    A. G. Forsdyke
18. ENERGIA ATÔMICA
    Matthew J. Gaines
19. ELETRÔNICA
    Roland Worcester
20. CAVALOS
    Judith Campbell
21. ELETRICIDADE
    D. R. G. Melville
22. MATEMÁTICA
    Charles Solomon
23. REINO VEGETAL
    Ian Tribe
24. SERPENTES
    John Stidworthy

PRÓXIMO LANÇAMENTO

COMPUTADORES

John Clark

Volume nº 16 da Série "Prisma"

EXPEDIENTE

Coordenação e Supervisão Editorial: Geraldo Galvão Ferraz; Décio Diêgoli

Assessoria de Propaganda e Imprensa: Moisés Vilaça

Produção Editorial: F. Wimmer (Coordenação); Prof. João Ribas da Costa; Ottokar Hans Hoeldtke; Aleixo Rosut; Brasilino Feliciano da Silva Jr.

Diagramação: DIAGRAM (Planejamentos Gráficos)

Capas: Murta Publicidade

Circulação e Promoção: B. C. Hyppolito

Vendas: José Higino Quadros Costa; Roberto Amaral

Distribuição nas bancas:
FERNANDO CHINAGLIA DISTRIBUIDORA S. A.
R. Teodoro da Silva, 907 – Tels. 258-4848 – 258-5155 – Tel. Chinaglia
20.000 – Rio de Janeiro – GB

FICHA CATALOGRÁFICA
[Preparada pelo Centro de Catalogação-na-fonte,
CÂMARA BRASILEIRA DO LIVRO, SP]

Nicolson, Iain.
N558e Exploração dos planetas; tradução de Fernando de Castro Ferro, revisão técnica de Oscar Toshiaki Matsuura, ilustrações de James Nicholls. São Paulo, Melhoramentos, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975.
ilust. (Prisma, 15)

Bibliografia.

1. Explorações planetárias 2. Planetas I. Título. II. Série.

CDD-523.4
-629.4354

74-1160

Índices para catálogo sistemático:

1. Explorações planetárias : Astronáutica 629.4354
2. Planetas : Astronomia descritiva 523.4
3. Planetas : Explorações : Astronáutica 629.4354

O maravilhoso mundo do conhecimento vive aumentando seus limites.
Ao mesmo tempo, cresce a necessidade nas pessoas de saber cada vez mais sobre mais coisas. É por isso que existe a série PRISMA. Uma série de livros para a família moderna, aberta e inteligente. Onde cada faixa de conhecimento é tratada por um especialista de renome internacional, numa linguagem sempre clara e direta. E as informações são completas e atualizadas, valendo como um verdadeiro curso sobre a matéria. Cada volume trata apenas de um assunto. O que dá ao leitor toda a liberdade possível para escolher o que mais lhe interesse. No mundo de hoje, porém, é quase obrigatório ter uma visão múltipla das mais variadas áreas do saber: E a série PRISMA oferece essa visão de modo fácil, colorido, barato e extremamente eficiente. É um lançamento que equivale a uma grande biblioteca.

Cr$ 15,00